

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior



Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales: Mecánica

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO Y CÁLCULO DE UN HANGAR MEDIANTE CYPE PARA EL
ALMACENAMIENTO DE AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN**

Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

Autor: Miguel López Díaz

Tutor: Matías Nicolás Braun.



AGRADECIMIENTOS

Este proyecto pone fin a una etapa de mi vida, pone fin a cuatro años de esfuerzo, de quebraderos de cabeza, de alegrías y de penas. A la vez, este proyecto da comienzo a una nueva etapa de mi vida, de la que espero me depare momentos iguales o mejores que la etapa pasada, la de graduado en ingeniería de tecnologías industriales.

Por todo ello, quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que han estado ahí para hacer posible que este día llegara.

Quiero agradecer en primer lugar el apoyo recibido por toda mi familia, que aparte de hacer todo lo posible para permitirme estudiar la carrera que escogí allá por el año 2011, me han brindado su sabiduría y su apoyo durante los peores momentos de estos cuatro años.

Agradecer a todos mis compañeros de universidad que gracias a ellos he tenido grandes momentos y grandes recuerdos que llevaré siempre conmigo y que espero que en lo venidero sigan ahí para poder crear más de ellos. En especial, quiero agradecerles a mi amiga Nuria por haber estado estos últimos cuatro meses de realización del proyecto empujándome a dar lo máximo de mí mismo.

Agradecer a todos mis amigos por estar siempre ahí cuando los he necesitado, y en especial a Fernando y a Omar por no desesperarse por las veces que los estudios me han tenido literalmente recluido en la biblioteca o mi casa.

También quisiera agradecer a los profesores de la Escuela Politécnica Superior de Leganés de la Universidad Carlos III de Madrid.

Y por último, pero no menos importante, quisiera agradecerle a mi tutor, el que será el futuro Doctor Matías Nicolás Braun, su apoyo y paciencia conmigo durante la realización de este proyecto, así como su sabiduría para poder llevarlo a cabo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	2
I. ÍNDICE DE FIGURAS	5
II. ÍNDICE DE ECUACIONES	7
III. ÍNDICE DE TABLAS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
TEMA 1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 MOTIVACIÓN	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 PLANIFICACIÓN.....	15
TEMA 2. CONSIDERACIONES PREVIAS Y REQUISITOS DEL DISEÑO	18
2.1 CONOCIMIENTOS PREVIOS	19
2.1.1 ESTRUCTURA.....	19
2.1.2. HANGARES	25
2.1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SOFTWARES EMPLEADOS	27
2.2 REQUISITOS DEL DISEÑO	30
2.2.1 EMPLAZAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL SOLAR	30
2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL HANGAR.....	31
2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.....	32
2.2.3 NORMATIVA APLICABLE.....	38
2.2.4 ACCIONES SOBRE LA EDIFICACIÓN.....	39
2.2.5 VERIFICACIONES.....	43
TEMA 3. CÁLCULO DE LAS ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA	46
3.1 PESO PROPIO.....	47
3.2 SOBRECARGA DE USO	49
3.3 VIENTO	50
4.3.1 PRESIÓN ESTÁTICA DEL VIENTO.....	50
3.3.2. COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN	51
3.3.3. COEFICIENTE EÓLICO O DE EXPOSICIÓN	52
3.4 NIEVE.....	56
3.5 ACCIONES TÉRMICAS	57
3.6 SISMO	57
3.7 ACCIONES DEL TERRENO.....	59
3.8 COMBINACIONES DE ACCIONES	60
TEMA 4. CÁLCULO DEL HANGAR CON CYPE.....	62
4.1 PREDISEÑOS TENTATIVOS	63
4.2 GENERADOR DE PÓRTICOS	66
4.3 METAL 3D	68
4.3.1 AGRUPACIÓN DE BARRAS.....	68
4.4 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE PERFIL EMPLEADO	75
4.5 DESCRIPCIÓN DE LOS NUDOS DE CADA BARRA	78



4.6 ASIGNACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE PANDEO PARA CADA BARRA	79
4.6.1 COEFICIENTES DE PANDEO EN PILARES	80
4.7 INTRODUCCIÓN DE FLECHAS	82
4.8 UNIONES	82
4.8.1 UNIÓN SOLDADA	82
4.8.2 RIGIDIZADORES	84
4.8.3 CARTELAS	84
4.8.4 ARRIOSTRAMIENTOS	85
4.8.5 PLACAS DE ANCLAJE	86
4.9 CIMENTACIÓN	87
4.10 CÁLCULO Y OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA	88
4.11 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA	90
TEMA 5: PRESUPUESTO	94
5.1 PRESUPUESTO	95
5.1.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS	95
5.1.2 CIMENTACIÓN	97
5.1.3 ESTRUCTURA	98
5.1.4 CERRAMIENTO	99
5.1.5 CUBIERTA	100
TEMA 6: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	101
6.1 CONCLUSIÓN	102
6.2 TRABAJOS FUTUROS	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
PLANOS DEL HANGAR	108

I. Índice de figuras

Figura 1. Flota de aviones Airbus Group	12
Figura 2. Fotografía aérea factoría de Airbus en Getafe	13
Figura 3. Tareas a realizar	15
Figura 4. Diagrama de Gant de las tareas	16
Figura 5. Planificación de la obra	17
Figura 6. Diagrama de Gant de la planificación.....	17
Figura 7. Viga de perfil IPE.....	20
Figura 8. Pilares de hormigón	21
Figura 9. Correas de perfil Z y C	21
Figura 10. Puente atirantado	22
Figura 11. Pórtico simple con cartelas	22
Figura 12. Familia de cerchas	23
Figura 13. Zapata de hormigón	23
Figura 14. Vigas de atado	24
Figura 15. Ejemplo de hangar	25
Figura 16. Pórtico en celosía	26
Figura 17. Viga triangular	26
Figura 18. Viga Parker	27
Figura 19. Viga Warren.....	27
Figura 20. Emplazamiento hangar Airbus Getafe	30
Figura 21. Dimensiones A320.....	31
Figura 22. Características del acero dependiendo del espesor.	33
Figura 23. Panel de hormigón alveolar	34
Figura 24. Canto alveoplaca de Aidepla	35
Figura 25. Características panel alveolar del muro perimetral.....	36
Figura 26. Panel sandwich.....	37
Figura 27. Características panel sandwich	37
Figura 28. Valores del coeficiente de seguridad	45
Figura 29. Valores del coeficiente de simultaneidad	45
Figura 30. Peso para el forjado de oficinas	47
Figura 31. Peso de los tabiques de separación	47
Figura 33. Carga de la cubierta de oficinas	48
Figura 32. Peso del forjado de hormigón.....	48
Figura 34. Valores de la sobrecarga de uso.....	49
Figura 35. Mapa de las zonas de España.....	51
Figura 36. Coeficientes de exposición	51
Figura 37. Parámetros verticales del viento.....	52
Figura 38. Cubierta a dos aguas I	54
Figura 39. Cubierta a dos aguas II	55
Figura 40. Valor característico de la carga de nieve.....	56
Figura 41. Valores de la aceleración de la gravedad en España	58



Figura 42. Valores de presión admisible del terreno	59
Figura 43. Hangar con pórticos en celosía	63
Figura 44. Viga en celosía	64
Figura 45. Pórtico simple	65
Figura 46. Disposición de los paneles de hormigón	67
Figura 47. Unifilar de la estructura	68
Figura 48. Agrupación de pilares laterales	69
Figura 49. Agrupación de pilares del muro piñón	69
Figura 50. Agrupación de pilares del forjado de oficinas	70
Figura 51. Dintel del muro piñón	70
Figura 52. Agrupación de dinteles centrales	71
Figura 53. Agrupación de barras para el dintel de las oficinas	71
Figura 54. Agrupación de vigas de atado	72
Figura 55. Vigas de atado entre pórticos	73
Figura 56. Vigas de atado del forjado de oficinas	73
Figura 57. Agrupación de cruces de San Andrés	74
Figura 58. Soldadura por electrodo	83
Figura 59. Rigidizadores de los dinteles	84
Figura 60. Cartela	85
Figura 61. Mecanismo para tensar cables	85
Figura 62. Tirantes formando cruces de San Andrés	86
Figura 63. Placa de anclaje pilar HEB 550	87
Figura 64. Cimentación del hangar	87
Figura 65. Resumen de medición	89
Figura 66. Diagrama de envolvente de tensión	90
Figura 67. Diagrama de envolvente de la flecha	91
Figura 68. Diagrama de envolvente de cortantes	92
Figura 69. Diagrama de envolvente de los momentos flectores	93



II. Índice de ecuaciones

Ecuación 1	44
Ecuación 2	44
Ecuación 3	44
Ecuación 4	50
Ecuación 5	50
Ecuación 6	53
Ecuación 7	53
Ecuación 8	53
Ecuación 9	56
Ecuación 10	60
Ecuación 11	79
Ecuación 12	80
Ecuación 13	80
Ecuación 14	81
Ecuación 15	81
Ecuación 16	81
Ecuación 17	81
Ecuación 18	83



III. Índice de tablas

Tabla 1. Distinción de hangares por tamaño.	25
Tabla 2. Dimensiones A320.....	31
Tabla 3. Características comunes de los aceros no aleados laminados en caliente	33
Tabla 4. Pesos propios actuantes en la estructura	48
Tabla 5. Valores de los parámetros.....	52
Tabla 6. Valores de las zonas.....	53
Tabla 7. Coeficientes de exposición	53
Tabla 8. Valores de la carga de viento para cada zona	53
Tabla 9. Cubiertas a dos aguas I	55
Tabla 10. Carga de viento para cubierta I	55
Tabla 11. Carga de viento para cubierta II	55
Tabla 12. E.L.U de rotura para hormigón de la cimentación	61
Tabla 13. E.L.U de rotura para acero laminado.....	61
Tabla 14. Valores empleados en el generador de pórticos.....	66
Tabla 15. Coeficientes de pandeo para barras canónicas	79
Tabla 16. Espesores de garganta mínimos.....	83
Tabla 17. Dimensiones de las zapatas.....	88
Tabla 18. Perfiles optimizados	89
Tabla 19. Presupuesto de ejecución material	100



RESUMEN

En el siglo XXI el negocio de la aviación está viviendo su mejor periodo puesto que el uso de los aviones no sólo está destinado al transporte de personas y mercancías a largas distancias, sino que también se emplean para viajar más rápida y cómodamente dentro del propio país.

Por ello, la idea de este proyecto se centra en la creación de una estructura que sea capaz de albergar a uno de estos grandes medios de transporte. Concretamente este proyecto se centra en el desarrollo de un hangar para albergar al avión mejor vendido de la historia, el A-320 de la compañía Airbus Group, en su nueva generación A-320 NEO (New Engine Option).

Para poder desarrollar todo el potencial del proyecto se van a emplear diversos tipos de softwares, destinados cada uno a una función. Entre el que destaca, por su gran aportación al proyecto, CYPE Ingenieros, con todos sus módulos adicionales.

Con este software se van a calcular todas las solicitudes, previamente calculadas a mano, que actúan sobre el hangar. Así mismo, se va a realizar un presupuesto detallado que asegure una viabilidad económica para la creación de esta edificación.



ABSTRACT

In the XXI century, the aviation is experiencing its best period because people uses this mean of transport for transport people and goods either long distances and short distances.

Therefore, the idea of this project focuses on the creation of a structure that is capable of housing one of the major means of transport. Specifically this project focuses on the development of a hangar to house the best-selling aircraft in history, the A-320 from Airbus Group Company, in its new generation called A-320 NEO (New Engine Option).

In order to develop the full potential of the project there are going to be used various types of software, each adapted to a function. Among which it stands out for its great contribution to the project, CYPE Engineers, with all additional modules.

With this software all the effects of the request that acts on the hangar will be calculated, previously calculated manually. Also, a detailed budget will be calculated to ensure economic viability for the creation of this building.



TEMA 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

En el siglo XXI la aviación está viviendo su momento más esperado puesto que ahora no solo la mayor parte de los traslados a larga distancia, sino que también los viajes a corta distancia, se están realizando usando este medio de transporte.

Por ello, el tema escogido para este trabajo ha sido el desarrollo de un hangar para albergar a una de estas aeronaves tan codiciadas por la sociedad moderna.

El 22 de febrero de 1987 marcó el primer vuelo de la familia de aviones mejor vendida de la historia, el A320, según un estudio de 2004 y 2005.

Esta aeronave se creó para competir con el gigante americano Boeing, prueba de ello es que el A320 es el competidor del 737 de Boeing.

Puede transportar a 150 personas una distancia de 6100 km, o lo que es lo mismo, puede realizar un viaje entre Madrid y Nueva York sin tener que realizar paradas para repostar.

A pesar de ser la familia de aeronaves más vendida de la multinacional europea, ésta no es la que tiene mayores dimensiones de toda la flota. Como se puede observar en la Figura 1, esta aeronave es de las más pequeñas del duopolio creado por las multinacionales europea y americana.

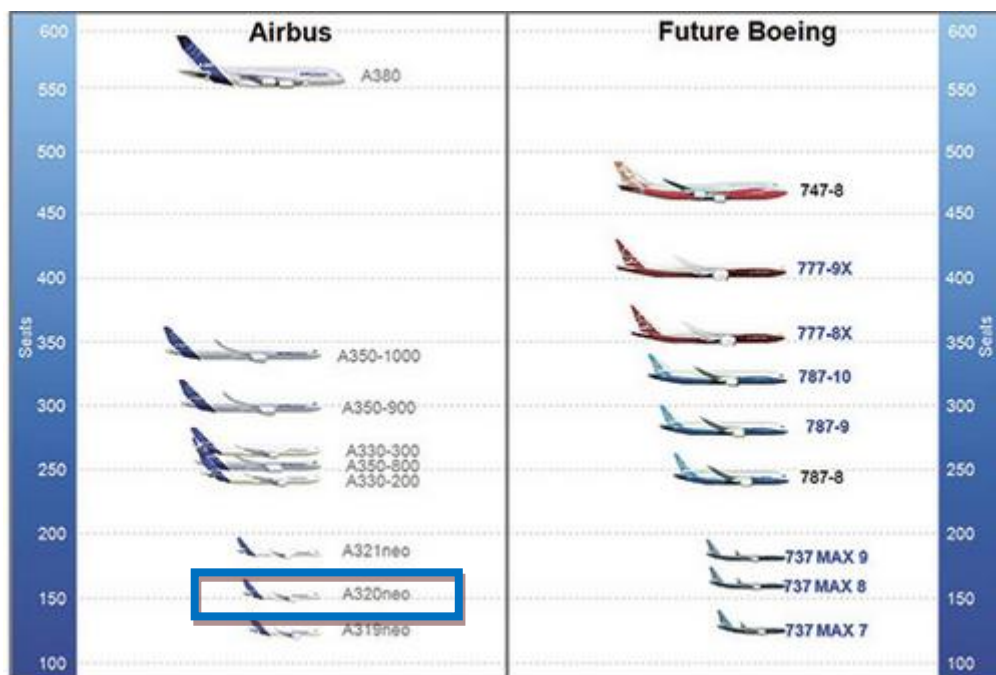


Figura 1. Flota de aviones Airbus Group

El 1 de diciembre de 2010, Airbus Group, lanzó oficialmente una nueva generación de esta aeronave conocida como A320Neo (New Engine Option), este modelo porta unos nuevos motores, que unidos a unas mejoras estructurales, hacen que el A320 Neo pueda ahorrar hasta un 15% de combustible respecto a sus familiares.

Por todo ello, el tema de este proyecto será el diseño de un hangar que sea capaz de almacenar esta aeronave.

Por tanto el emplazamiento para este nuevo hangar se realizará en la factoría de Airbus Group, ubicada en Getafe. Un ejemplo representativo de la distribución de construcciones típica se puede apreciar en la Figura 2, donde se muestra una fotografía aérea de la factoría de Airbus sede Getafe, en la que conviven las tres divisiones de la multinacional (Defense and Space, Civil y Airbus Helicopters).



Figura 2. Fotografía aérea factoría de Airbus en Getafe

La diferencia de tipologías estructurales empleadas para la construcción de los hangares se debe a que existen infinidad de soluciones para una misma solicitud constructiva, dichas soluciones tendrán que atenderse a la experiencia del ingeniero proyectista que ha realizado el diseño o simplemente a las preferencias del cliente.

Por ello, el diseño estructural de este hangar tiene que ser muy cuidadoso y exhaustivo para poder adecuarse a los requerimientos solicitados.



1.2 OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto son varios, entre los que se pueden destacar el aprendizaje y manejo de la normativa de la construcción, en este caso se empleará el Código Técnico de la Construcción (CTE) durante todo el proyecto; el aprendizaje en la realización de proyectos estructurales de este calibre desde cero, pues al provenir del grado de tecnologías industriales, no se ha tenido la oportunidad de cursar asignaturas en las que se realicen esta clase de proyectos; y el manejo de los softwares más importantes para el cálculos de edificaciones como la presentada en este proyecto.

Sin embargo, el objetivo principal de este proyecto es el siguiente:

- Diseño y cálculo de un hangar que cumpla las exigencias del cliente en las labores de almacenaje y mantenimiento del Airbus A320.
- Creación de dos zonas, una destinada al almacenaje del avión y otra destinada a albergar las oficinas donde se desarrollarán los posibles datos obtenidos durante los mantenimientos de la aeronave.

Para el cálculo de la estructura se empleará el software comercial de cálculo de estructuras CYPE. El uso de este software se limitará a las reacciones, las solicitaciones, el dimensionado de los elementos estructurales, las uniones de dichos elementos y la cimentación usada para el sustento de la edificación.

1.3 PLANIFICACIÓN

Este proyecto se planificó para ser realizado durante el segundo cuatrimestre del curso 2014/2015. Para poder cumplir con los plazos exigidos por la universidad se tuvo que establecer una serie de fechas que fueron marcadas durante la realización del mismo y que tuvieron una duración estimada que facilitó el cumplimiento de las tareas asignadas.

Por tanto, la planificación será la mostrada en la Figura 3, y que da lugar al diagrama de Gant mostrado en la Figura 4, corresponde con las fechas establecidas a lo largo del proyecto.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
Análisis de la estructura por CYPE	87 días	lun 26/01/15	mar 26/05/15	
Elección del tema	7 días	lun 26/01/15	mar 03/02/15	
Búsqueda de tutor	3 días	mié 04/02/15	vie 06/02/15	2
Información hangares	7 días	lun 09/02/15	mar 17/02/15	3
Aprendizaje CYPE	30 días	mié 18/02/15	mar 31/03/15	4
Prediseños AutoCAD	5 días	mié 01/04/15	mar 07/04/15	5
Materiales y perfiles	2 días	mié 08/04/15	jue 09/04/15	6
Prediseños en CYPE	6 días	vie 10/04/15	vie 17/04/15	7
Análisis y elección del óptimo	3 días	lun 20/04/15	mié 22/04/15	8
Añadir oficinas	10 días	jue 23/04/15	mié 06/05/15	9
Cimentación	4 días	jue 07/05/15	mar 12/05/15	10
Optimización estructura	2 días	mié 13/05/15	jue 14/05/15	11
Optimización cimentación	2 días	vie 15/05/15	lun 18/05/15	12
Análisis de resultados	3 días	mar 19/05/15	jue 21/05/15	13
Presupuesto con Arquímedes	3 días	vie 22/05/15	mar 26/05/15	14
Redacción de la memoria	62 días?	dom 15/03/15	mar 09/06/15	
Comienzo de la memoria	3 días	dom 15/03/15	mar 17/03/15	
Introducción y consideraciones previas	14 días	mié 18/03/15	lun 06/04/15	17
Cálculo de acciones	7 días	lun 20/04/15	mar 28/04/15	8;18
Transcripción del cálculo	9 días	lun 04/05/15	jue 14/05/15	19
Presupuesto	1 día	vie 15/05/15	vie 15/05/15	20
Conclusión y trabajos futuros	1 día	lun 18/05/15	lun 18/05/15	21
Correcciones	16 días	mar 19/05/15	mar 09/06/15	22

Figura 3. Tareas a realizar

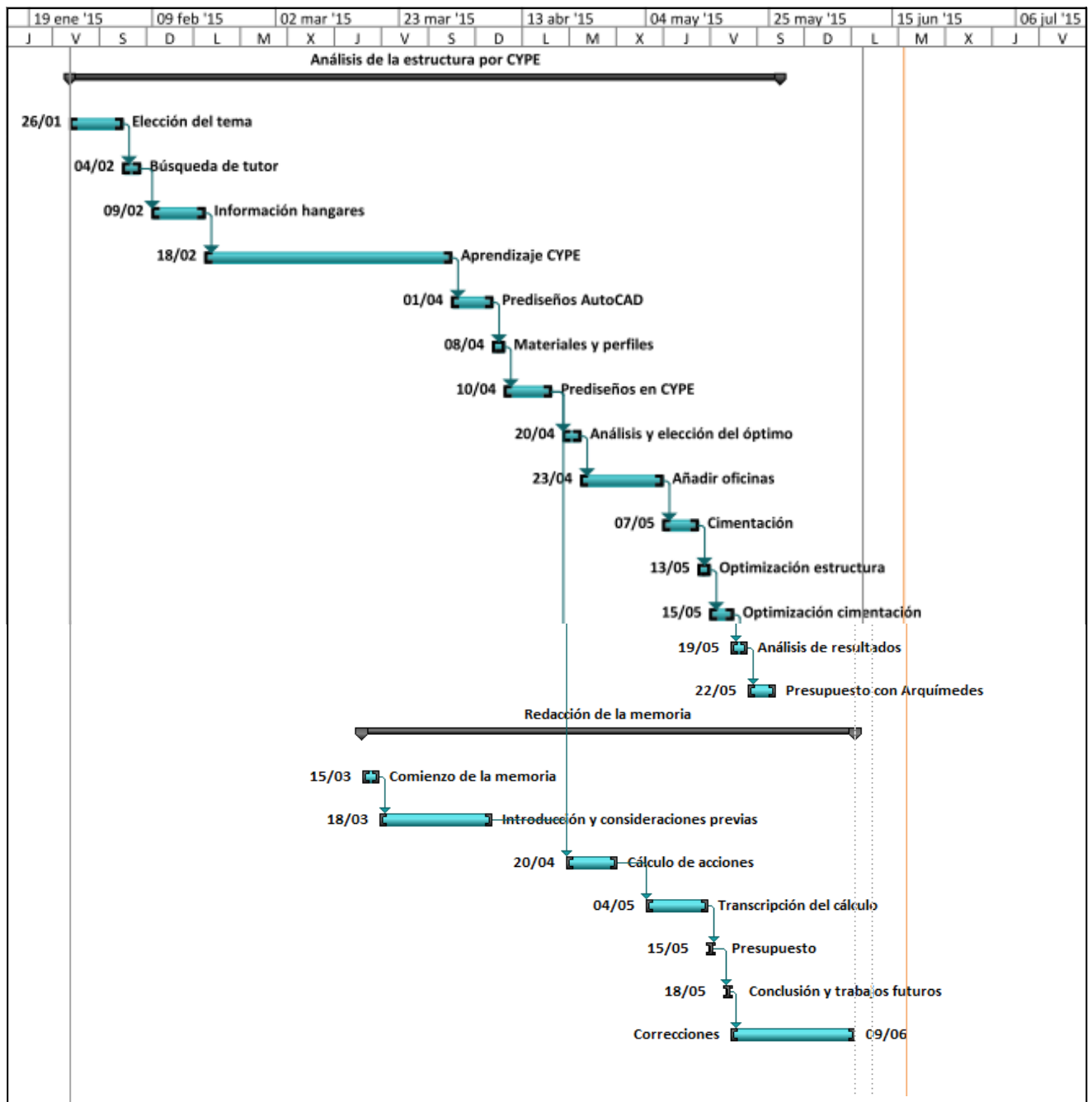


Figura 4. Diagrama de Gant de las tareas

Así mismo, se ha elaborado, con el mismo software la planificación que tendrá la obra una vez se obtenga el visto bueno del cliente.

El comienzo de la obra será en marzo puesto que, al entrar la primavera en esa época, el contraste térmico al que se verán afectados los elementos estructuras durante su vida útil será menor. Puesto que si la obra se comenzara en verano, todos los materiales adquirirían las tensiones propias del elevado calor, entonces cuando llegase el invierno, los materiales, se verían sometidos a un gran contraste de temperatura que podría propiciar la aparición de fracturas en los materiales.

En la Figura 5 se pueden observar las tareas que van a realizarse para obtener el hangar en su totalidad y en la Figura 6 aparece el diagrama de Gant para esa planificación.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Movimiento de tierras	7 días	mar 01/03/16	mié 09/03/16
Cimentación	21 días	vie 04/03/16	vie 01/04/16
Estructura			
Pilares	9 días	mié 23/03/16	lun 04/04/16
Pórticos y vigas de atado	21 días	mar 05/04/16	mar 03/05/16
Correas	8 días	sáb 23/04/16	mar 03/05/16
Cerramiento vertical	28 días	mié 04/05/16	vie 10/06/16
Cubierta	28 días	lun 13/06/16	mié 20/07/16

Figura 5. Planificación de la obra

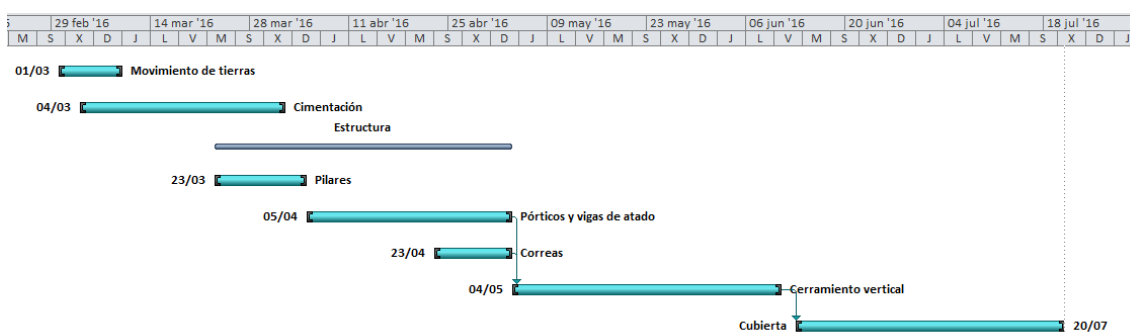


Figura 6. Diagrama de Gant de la planificación



TEMA 2. CONSIDERACIONES PREVIAS Y REQUISITOS DEL DISEÑO



2.1 CONOCIMIENTOS PREVIOS

Antes de poder empezar a hablar de diseños estructurales del hangar, habrá que definir una serie de conceptos que ayuden a comprender toda la terminología empleada en este trabajo final de grado. Por ello, se empezará por dar unas nociones básicas de lo que es una estructura y finalmente se pasará a la explicación de qué es un hangar y que partes lo conforman.

2.1.1 ESTRUCTURA

Una estructura es un conjunto de elementos resistentes capaz de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de las cargas, que provocan esfuerzos en los elementos estructurales sobre los que se distribuyen; y a agentes exteriores a los que ha de estar sometido. Las cargas se pueden clasificar en:

- Peso propio.
- Cargas de funcionamiento.
- Acciones varias.

El peso propio de una estructura es la acción inherente a la estructura provocada por el peso de los elementos estructurales que la conforman.

En cuanto a las cargas de funcionamiento, son las que dependen de la finalidad que se le vaya a dar a la estructura, ya que este tipo de cargas las conforman la maquinaria, personas y mobiliario que vaya a soportar.

Finalmente, las acciones varias, son las producidas por el medio ambiente, las más significativas son la fuerza del viento y sus efectos sobre la estructura, el peso de la acumulación de la nieve en las cubiertas, las dilataciones y contracciones de los elementos estructurales provocados por la acción de los cambios de temperatura; y las acciones propiciadas por los terremotos o seísmos.

Para poder acreditar la estructura como capaz para desempeñar su labor, tendrá que poder soportar la combinación más desfavorable de estas cargas. Para ello se tendrán que definir tres conceptos más que formar parte de la capacidad de soportar las cargas, por parte de la estructura. Dichos conceptos son:

- Estabilidad.
- Resistencia.
- Deformación limitada.

El concepto de estabilidad es una noción física y/o química asociada a la capacidad de un cuerpo de mantener su estado o su composición inalterados durante un tiempo relativamente prolongado, es decir, es la que verifica que se cumplen las ecuaciones de la estática aplicadas a un sólido rígido (siendo el sólido rígido, la estructura) cuando es sometida a la combinación más desfavorable de las mismas.

Por otro lado, la resistencia es la capacidad que tiene nuestra estructura de soportar presiones y fuerzas aplicadas sin que se llegue a quebrar, deformar o sufrir deterioros.

Por último, la deformación limitada es un valor numérico preestablecido en el diseño de la estructura que limita la máxima deformación de cualquier elemento estructural que esté contenido en nuestra estructura.

2.1.1.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

- Vigas.
- Pilares.
- Correas.
- Tirantes.

Viga: elemento estructural lineal en el que cuya longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y que trabaja a flexión, un ejemplo del tipo de perfil más empleado en la construcción de vigas es el representado en la Figura 7.

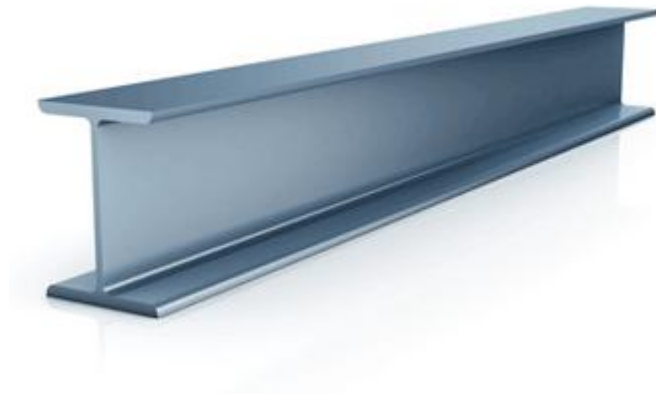


Figura 7. Viga de perfil IPE

Pilares: elementos estructurales que trabajan a compresión, a parte, son los que transmiten las cargas a la cimentación. Dichos elementos pueden apreciarse verticalmente en la Figura 8.



Figura 8. Pilares de hormigón

Correas: vigas que unen los pórticos y que soportan directamente los elementos de cubierta. Las correas más empleadas en la construcción son las que tienen un perfil tipo Z o tipo C, como se pueden apreciar en la Figura 9.

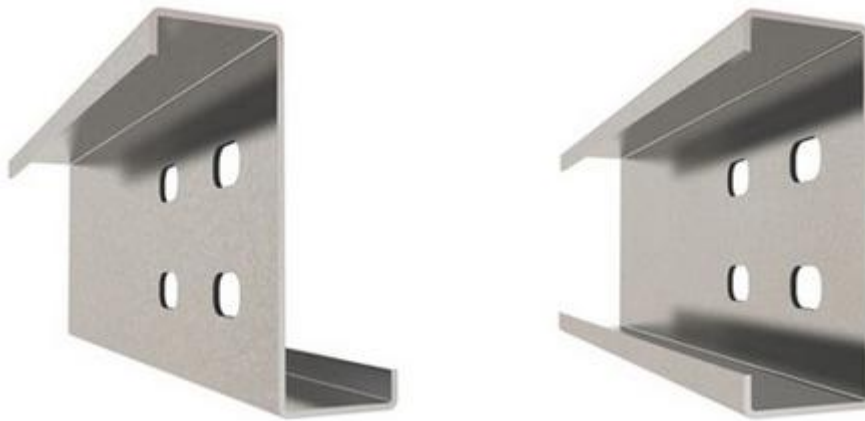


Figura 9. Correos de perfil Z y C

Tirantes: son cables sometidos a tracción que sirven para arriostrar la estructura en uno de los sentidos, para evitar el pandeo producido por las diferentes cargas. Estos tirantes son muy empleados en la construcción de naves industriales, para evitar tener que introducir peso adicional con nuevas vigas. Otro ejemplo en el que comúnmente se usan tirantes es en la construcción de puentes, como se puede observar en la Figura 10.



Figura 10. Puente atirantado

Por último, la unión de varios de los elementos estructurales definidos anteriormente resulta en dos tipos de tipologías estructurales muy habituales en el mundo de la ingeniería civil.

2.1.1.2 TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

- Pórtico.
- Cercha.

Pórtico: tipología estructural que emplea generalmente nudos rígidos y que permite salvar distancias sin introducir pilares intermedios, esto permite obtener grandes estructuras diáfanas, como es el caso de este proyecto. El pórtico más simple empleado en la construcción es el mostrado en la Figura 11.



Figura 11. Pórtico simple con cartelas

Cercha: tipología estructural formada por una celosía plana de canto variable a dos aguas. Esta tipología se emplea para salvar grandes distancias en las que un pórtico simple requeriría el uso de vigas sobredimensionadas. Los distintos tipos de cerchas se pueden observar en la Figura 12.

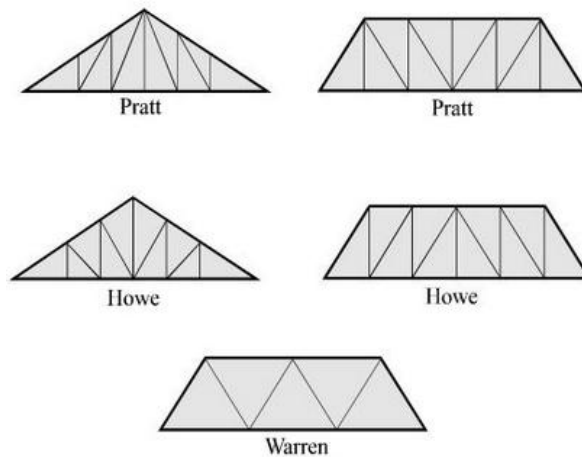


Figura 12. Familia de cerchas

Todos estos elementos estructurales descritos anteriormente sirven para soportar las cargas y transmitir las al terreno, a través de otra serie de elementos estructurales, evitando que la edificación sufra hundimientos en el mismo o pierda grados de libertad. Estos elementos estructurales sobre los que se apoyan los anteriormente descritos son la cimentación.

2.1.1.3 CIMENTACIÓN

- Zapatas
- Vigas de atado

Zapatas: prisma de hormigón situado en la base de los pilares de la estructura y cuyas funciones son las de anclar la estructura y transmitir presiones al terreno. Pueden ser aisladas o con vigas de atado. El ejemplo más simple de una zapata es el de la Figura 13, formado por una losa de hormigón anclada al pilar de la estructura.

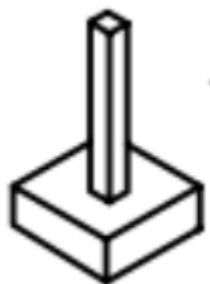


Figura 13. Zapata de hormigón

Las zapatas aisladas se emplean en la cimentación de pilares aislados (principalmente de los pilares no perimetrales de un edificio) sobre terrenos de buena calidad.

Las zapatas con vigas de atado se emplean cuando la carga actúa excéntrica sobre la zapata, haciendo que pueda volcar por la presión no uniforme sobre el terreno.

Vigas de atado: son piezas o elementos estructurales generalmente de hormigón armado o de cualquier elemento que pueda resistir tracciones, que unen dos o más cimientos o zapatas de forma que siempre haya la misma distancia entre zapatas, impidiendo el desplazamiento en ciertos grados de libertad, prueba de ello se puede observar en la Figura 14.

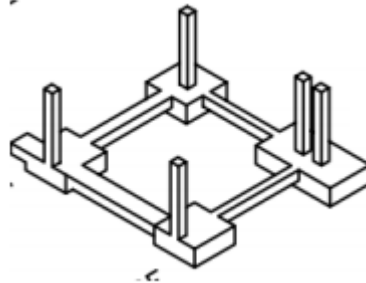


Figura 14. Vigas de atado

2.1.2. HANGARES

Un hangar es un tipo de estructura que permite obtener un espacio diáfano muy elevado, por ello, la finalidad de dichos hangares es la de poder almacenar y/o reparar aeronaves, como se puede observar en la Figura 15, el hangar puede albergar aeronaves de cualquier tamaño.

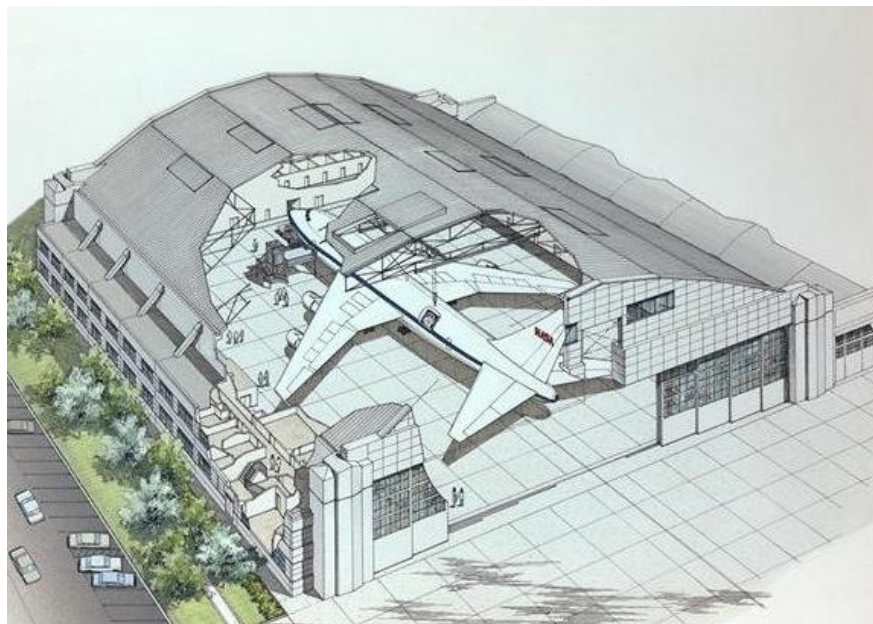


Figura 15. Ejemplo de hangar

Debido a la complejidad del montaje de dicha estructura, la realización de la misma tiene que hacerse por parte de gente especializada en el tema (tanto desde el punto de vista estructural como del de las instalaciones).

Dependiendo del tipo de aeronave que se vaya a almacenar en su interior, las dimensiones del hangar variarán. Así que, atendiendo a las dimensiones de la puerta del hangar se puede realizar la distinción de los mismos, ilustrada en la Tabla 1:

Tamaño	Entrada libre (m)
S	<30
M	30-60
L	60-90
XL	90-120
XXL	>120

Tabla 1. Distinción de hangares por tamaño.

Como la cola es una parte del avión que depende de la envergadura del mismo, los hangares del tipo XXL pueden llegar a tener una altura hasta la cumbre de 30 m.

Debido a que son estructuras tan grandes, el conjunto de elementos que conforman la cubierta y los cerramientos tienen que ser lo más barato y liviano posible, porque el peso propio de la estructura será uno de las acciones más importantes en el cálculo del diseño del hangar.

Por tanto, los cerramientos se suelen realizar con paneles alveolares de hormigón, permitiendo disminuir el peso con respecto a un panel de hormigón sin variar sus propiedades mecánicas; y los paneles que conforman la cubierta se realizan con paneles sándwich, con los que la relación volumen-peso es mucho menor, debido a la espuma de poliuretano que tienen en su interior.

Para poder salvar las grandes luces que requieren para su finalidad, estos hangares tendrán una serie de peculiaridades en los pórticos empleados que difieren con los empleados en naves industriales convencionales.

Estos pórticos tendrán que ser contruidos a partir de celosías, para poder aguantar los esfuerzos propios de la estructura que sustentan, muestra de ello se puede ver en la Figura 16.

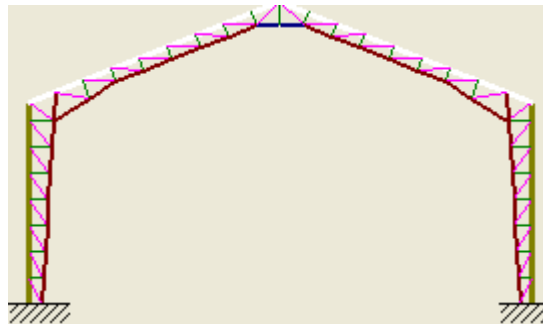


Figura 16. Pórtico en celosía

A parte, las vigas que forman el dintel del pórtico tendrán que ser realizadas por triangulaciones planas o tridimensionales, en las siguientes figuras se expone algunas de las vigas empleadas para salvar fuertes luces.

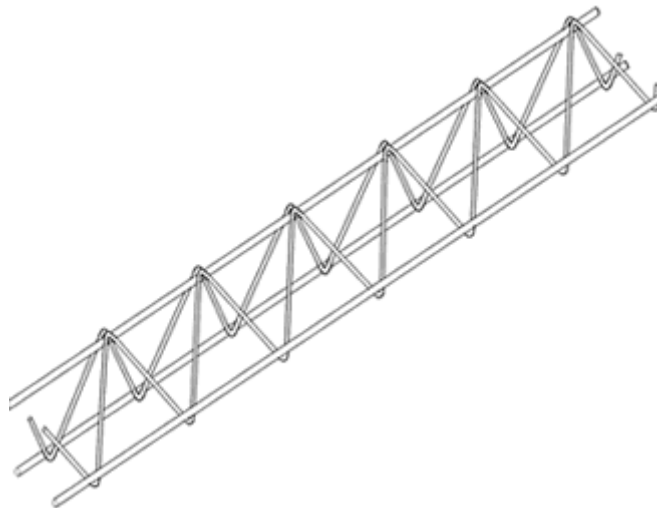


Figura 17. Viga triangular

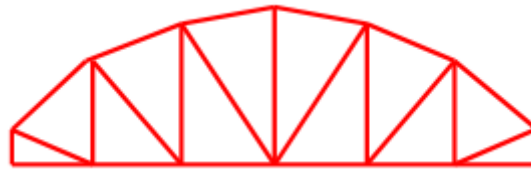


Figura 18. Viga Parker

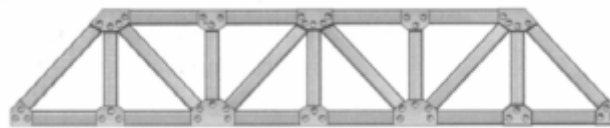


Figura 19. Viga Warren

La elección de una de estas vigas para completar el dintel de los pórticos del hangar será una decisión que deberá tomar el ingeniero estructuralista teniendo en cuenta las ventajas que aporten cada una de ellas.

2.1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SOFTWARES EMPLEADOS

Actualmente en el mercado existen una gran variedad de softwares informáticos que realizan el cálculo estructural (Sap2000, Ram Advances, TriCalc, etc.) de naves, hangares, viviendas, etc. Pero el escogido para realizar el cálculo de este proyecto será el software CYPE ingenieros 2015.

Dentro de este paquete hay dos módulos que se usan para el cálculo de la estructura de una nave industrial, y por ende, de un hangar. Estos son el Generador de Pórticos y el Metal3D.

2.1.3.1 GENERADOR DE PÓRTICOS

El generador de pórticos es un módulo que posee el software comercial CYPE INGENIEROS. Este módulo permite crear de forma rápida y sencilla el pórtico sobre el que se apoyará la futura estructura, ya que permite introducir las cargas de peso propio, sobrecarga de uso, nieve, viento y sismos de forma sencilla puesto que lo único que tiene que introducir el usuario es la normativa aplicable y la situación geográfica de la edificación. El módulo recoge esos datos y realiza los cálculos de las cargas y las aplica sobre el pórtico. Una vez realizado el cálculo de cargas también se puede realizar el dimensionado de las correas.

Una vez realizados los citados pasos, se exporta el pórtico, creado en el Generador de Pórticos, al Metal 3D clásico con apoyos biarticulados o biempotrados, sus cargas y los coeficientes de pandeo de las barras que lo componen suponiendo la estructura traslacional o intraslacional.



Siendo una estructura traslacional aquella cuyos nudos, bajo solicitaciones de cálculo, presentan desplazamientos transversales cuyos efectos no pueden ser despreciados desde el punto de vista de la estabilidad.

Mientras que una estructura intraslacional es aquella cuyos nudos, bajos solicitaciones de cálculo presentan desplazamientos transversales cuyos efectos pueden ser despreciados desde el punto de vista de la estabilidad del conjunto.

Al realizar la exportación del pórtico al Metal 3D se realiza la exportación de todas las cargas actuantes sobre la estructura de manera que son cargas superficiales, lo que simplifica la labor de introducción de nuevas cargas y pilares, ya que el programa reparte la carga superficial sobre todas las barras introducidas, en vez de que el usuario tenga que introducir cargas lineales sobre los pilares intermedios.

En este proyecto se ha empleado dicha herramienta puesto que la geometría de los pórticos se puede incluir dentro de las opciones recogidas por el Generador de Pórticos. En el caso de que la geometría de los pórticos fuera distinta a las opciones ofrecidas habría que diseñar la estructura y el reparto de cargas directamente sobre el Metal 3D.

2.1.3.2 CYPE METAL 3D

Este módulo es un ágil y eficaz programa pensado para realizar el cálculo de estructuras en 3 dimensiones de barras de madera, de acero, de aluminio, de hormigón o de cualquier material, incluida su cimentación con zapatas, encepados, correas de atado y vigas centradoras. Si la estructura de barras es de madera, de acero o de aluminio, obtiene su redimensionamientos y optimización máxima.

Una vez exportados los datos desde el Generador de Pórticos se le da a la estructura las condiciones internas y externas a los nudos, pandeo de las piezas, la flecha máxima, describir perfiles de las vigas, material y disposición de los mismos, ect.

Este módulo es una herramienta muy potente de cálculo puesto que realiza todas las comprobaciones para ver si las barras empleadas en la futura construcción de la estructura soportaran las cargas propias de la vida útil de la misma.

Para poder realizar el dimensionado de la planta de oficinas habrá que trabajar directamente sobre este módulo puesto que el Generador de Pórticos no permite realizar los cálculos pertinentes.



2.1.3.3 ARQUÍMEDES

Esta aplicación es una de las incluidas dentro de los módulos de CYPE Ingenieros y sirve para el cálculo y desarrollo profesional de presupuestos de obras públicas y privadas.

En este proyecto se ha realizado un presupuesto exhaustivo con este módulo, permitiendo tener de una forma detallada y lo más realista posible el coste total del hangar propuesto en este proyecto.

2.1.3.4 AUTOCAD

El software AutoCAD es el más empleado en la elaboración del diseño asistido por ordenador, prueba de ello se puede observar en este proyecto debido a que se empleó para la realización de los esquemas y planos empleados en el mismo.

2.2 REQUISITOS DEL DISEÑO

2.2.1 EMPLAZAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL SOLAR

El hangar que se procederá a diseñar estará ubicado dentro del recinto de Airbus Group ubicado en la localidad madrileña de Getafe, en el polígono industrial situado en la calle Paseo Jonh Lennon, s/n, por el norte, y Calle Eratóstenes, s/n, por el sur.

La factoría cuenta con una superficie de 840.000m², de los que 270.000 m² son edificios. Así mismo, dentro de esta factoría se encuentran las tres divisiones de Airbus (Airbus Defence and Space, Airbus y Airbus helicopters).

En la Figura 20 se puede observar el emplazamiento (marcado con un recuadro azul) aproximado del hangar sobre el que se está realizando este proyecto.

Debido a que el terreno sobre el que se emplazará el hangar es un terreno industrial, no habrá necesidad de realizar obras para allanarlo. El único movimiento de tierras que se realizará será para poder realizar la cimentación que sustente el propio hangar.

Los servicios urbanísticos del emplazamiento son los necesarios para el desarrollo de la actividad a la que se destinará el hangar, es decir, el alcantarillado, abastecimiento y evacuación de aguas, suministro de energía eléctrica y telefonía.



Figura 20. Emplazamiento hangar Airbus Getafe

2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL HANGAR

Este hangar estará destinado al almacenaje del A320, así como una planta de oficinas para poder realizar las operaciones necesarias sobre la aeronave.

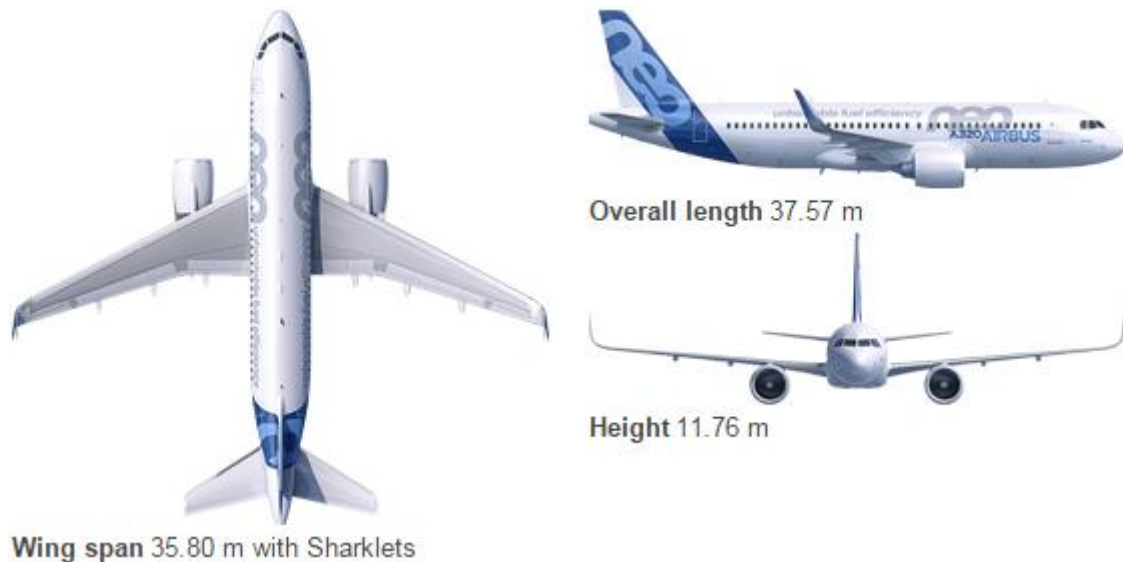


Figura 21. Dimensiones A320

Como se puede observar en la Figura 21, las dimensiones de la aeronave serán las mostradas en la Tabla 2.

Descripción	Dimensión (m)
Longitud	37.57
Envergadura	35.80
Altura	11.76

Tabla 2. Dimensiones A320

A partir de estas medidas se han establecido las dimensiones que tendrá la estructura del hangar.

- Longitud: 55m
- Luz del hangar: 40 m
- Altura de pilares: 13 m
- Altura hasta cubierta: 15 m
- Altura planta de oficinas: 3 m
- Separación entre pilares: 5 m
- Pendiente de la cubierta del hangar: 10%

Otros datos a tener en cuenta para definir la estructura del hangar serán los referentes a los materiales de construcción empleados en cerramientos, la cubierta, la cimentación y la estructura. Además también se definirá el tipo de viga usado para la estructura.



2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

En este apartado se definirán los tipos de materiales empleados para la construcción de cada elemento estructural del hangar, para ello utilizaremos el CTE en su Documento Básico sobre Seguridad Estructural. Acero (CTE DB SE-A), la norma UNE EN 10025 (productos laminados en caliente de acero no aleado), un catálogo de paneles alveolares (Aidepla) para el forjado de oficinas y el catálogo de Prainsa para las placas alveolares que conformarán el muro perimetral; y un catálogo de paneles sándwich para la cubierta.

Acero

El acero puede ser de varias formas, dependiendo de si es aleado o no, del tipo de aleación que tiene y de la forma de conformarlo.

Acero aleado o no aleado

- Acero aleado: es aquel que contiene una cantidad de elementos que hacen que sus características mecánicas aumenten o disminuyan, dichos elementos que se suelen añadir al acero son el C, Ni y Cr entre otros.
- Acero no aleado: es el acero que no contiene ningún elemento aleante y que por tanto no encarece su fabricación. Este tipo de acero es el empleado en las vigas estructurales de las edificaciones.

Debido a que el acero no aleado es el más empleado en la construcción, será el que se use para este proyecto.

Tipo de laminado

El laminado es una operación de conformado por deformación en la que se hace pasar el “tocho”, que formará la viga, por una serie de rodillos con la finalidad de que aumenten sus propiedades mecánicas debido a la recristalización de su estructura cristalina. Dependiendo de la temperatura a la que se haga el laminado se pueden obtener:

- **Acero laminado en frío:** proceso por el cual se hace pasar al tocho, en frío, por una serie de rodillos. Este proceso provoca acritud, haciendo que el material adquiera dureza en cada pasada de rodillo y por tanto las fuerzas necesarias, para poder deformar la pieza en la siguiente pasada de rodillo, sean mayores.

- **Acero laminado en caliente:** proceso de conformado de las vigas empleadas en los elementos estructurales de la mayoría de las edificaciones. En este tipo de laminado se hace pasar la pieza, previamente calentada hasta el “rojo vivo”, por una serie de rodillos que reducen su sección y recrystalizan su estructura cristalina. Este tipo de laminado es el más usado debido a que las fuerzas empleadas para reducir la sección del tocho son menores que en el laminado en frío y a que no se produce acritud en cada pasada por rodillo, con lo cual las fuerzas son constantes.

Al igual que el acero no aleado, que es el más común en la construcción, será el acero laminado en caliente el que se escoja para realizar la estructura metálica del hangar.

Los aceros recogidos en la norma UNE EN 10025 (productos laminados en caliente de aceros no aleados) tienen una serie de características que son comunes a todos y otras que no, dichas características están recogidas en la Tabla 3.

Parámetro	Valor
Módulo de Elasticidad (E)	210.000 N/mm ²
Módulo de Rigidez (G)	81.000 N/mm ²
Coefficiente de Poisson (ν)	0,3
Coefficiente de dilatación térmica (α)	1,2·10 ⁻⁵ (°C) ⁻¹
Densidad (ρ)	7.850 kg/m ³

Tabla 3. Características comunes de los aceros no aleados laminados en caliente

Por otro lado, las características que dependen del espesor del perfil son las siguientes, reflejadas en Figura 22:

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f _y (N/mm ²)			Tensión de rotura f _u (N/mm ²)	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

Figura 22. Características del acero dependiendo del espesor.

Donde el valor numérico es el límite elástico admisible (f_y) y el grado JR, J0, J1, J2 es la resiliencia exigida y su soldabilidad (en orden creciente desde JR a J2).

Debido al cumplimiento de los requerimientos necesarios para el buen funcionamiento de la estructura del hangar, el acero empleado será el S275J0.

Placa alveolar

Elemento monolítico pretensado o armado, con un canto total y constante. Dividido en una placa superior e inferior (denominadas alas), unidas por almas verticales, formando así alveolos huecos longitudinales en la sección transversal, que es constante y presenta un eje vertical simétrico, como se puede observar en la Figura 23.

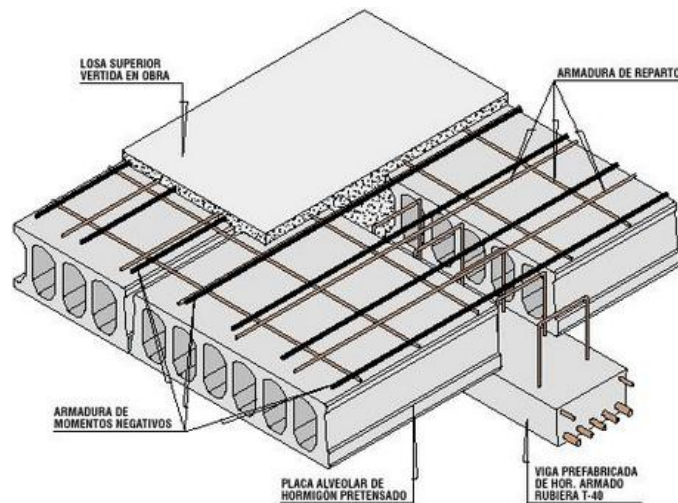


Figura 23. Panel de hormigón alveolar

El proveedor escogido para realizar los paneles que conforman el forjado de las oficinas será el panel alveolar distribuido por Aidepla, que tendrá las siguientes características, mostradas en la Figura 24.

LUZ m	Carga total en Kp/m ² incluido el peso propio					
	600	800	1000	1200	1400	1600
3,00	5 6 cm 7	6 7 cm 7	7 8 cm 8	7 8 cm 9	8 9 cm 10	8 10 cm 11
4,00	7 8 cm 9	9 10 cm 11	10 11 cm 12	11 12 cm 13	11 13 cm 14	12 14 cm 15
5,00	10 11 cm 12	11 13 cm 14	13 14 cm 16	14 16 cm 17	15 17 cm 19	16 18 cm 20
6,00	10 11 cm 12	14 16 cm 18	16 18 cm 20	17 20 cm 22	19 21 cm 24	20 23 cm 25
7,00	15 17 cm 19	17 19 cm 22	19 22 cm 24	21 24 cm 26	23 26 cm 29	24 27 cm 31
8,00	18 20 cm 22	20 23 cm 26	23 26 cm 29	25 28 cm 31	27 30 cm 34	29 32 cm 36
9,00	20 23 cm 26	24 27 cm 30	26 30 cm 33	29 33 cm 36	31 35 cm 39	33 38 cm 43
10,00	23 26 cm 29	27 30 cm 34	30 34 cm 37	33 37 cm 41	36 40 cm 45	38 43 cm 48
11,00	26 30 cm 33	30 34 cm 38	34 38 cm 42	37 42 cm 47	40 45 cm 50	43 48 cm 54
12,00	29 33 cm 37	34 38 cm 42	38 43 cm 47	42 47 cm 52	45 50 cm 56	48 54 cm 60

Figura 24. Canto alveoplaca de Aidepla

En este caso como la luz que se pretende salvar en el forjado es de 5 m y la carga a la que va a estar sometida es de 1000 Kp/m² se tomará un valor para el canto de 16 cm.

En el caso de los paneles que conformarán el muro perimetral, se tomarán los suministrados por el proveedor Prainsa, como se mencionó anteriormente, mostrados en la Figura 25.

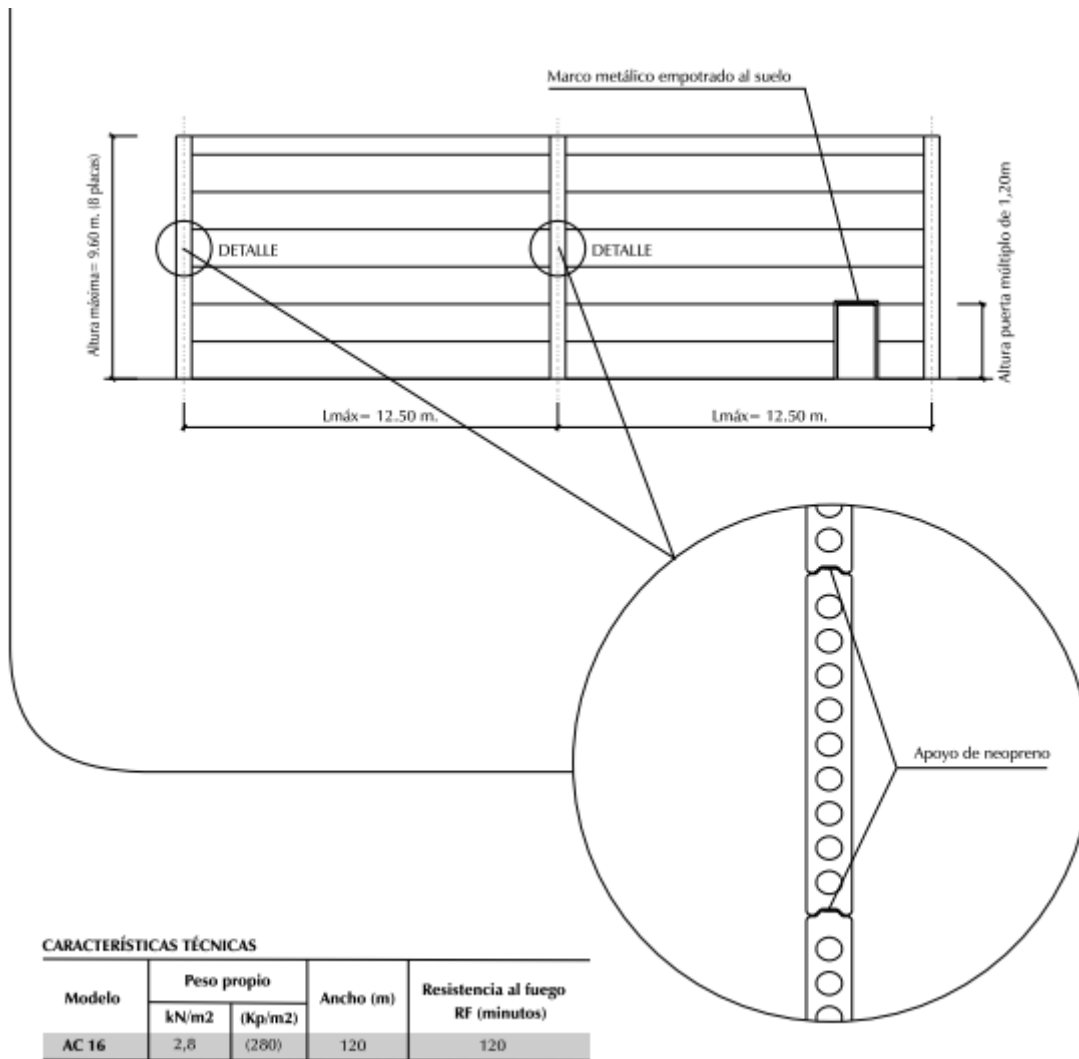


Figura 25. Características panel alveolar del muro perimetral

Panel sándwich

Los paneles sándwich o paneles multicapa son productos prefabricados formados por un alma un material aislante (generalmente espumas sintéticas) y dos parámetros, principalmente de tableros derivados de la madera, como se puede mostrar en la Figura 26.

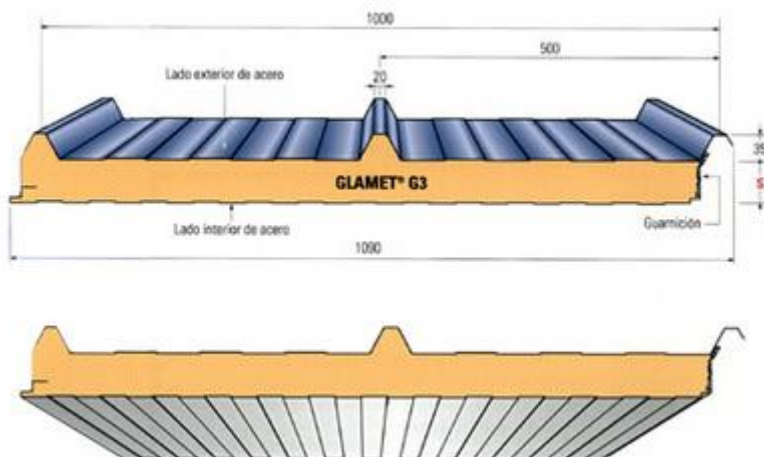


Figura 26. Panel sandwich

El panel sándwich es el más empleado en la construcción de cubiertas de naves industriales debido a que cumple perfectamente los requerimientos de cargas y aporta poco peso a la estructura.

El escogido para cubrir la necesidad de la cubierta de este hangar ha sido el panel sándwich tapajuntas de panelsandwich.org debido a que es un panel metálico autoportante con aislamiento de poliuretano empleado para cubiertas con una pendiente mínima del 3%.

El panel sándwich empleado en este proyecto tiene las siguientes características mostradas en la Figura 27.

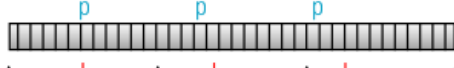
S mm	K		Peso panel kg/m ² 0,40 + 0,40		 $p = (\text{daN/m}^2)$						
	Kcal m ² h °C	Watt m ² °C			60	80	100	120	150	200	250
30	0,51	0,59	8,07	I =	3,65	3,10	2,70	2,40	2,10	1,75	1,50
40	0,40	0,47	8,45	I =	4,05	3,50	3,00	2,65	2,25	1,85	1,50
50	0,33	0,39	8,83	I =	4,40	3,70	3,20	2,85	2,45	1,95	1,60
60	0,28	0,33	9,21	I =	4,70	3,95	3,45	3,00	2,55	2,00	1,65
80	0,22	0,26	9,97	I =	5,10	4,35	3,80	3,40	2,85	2,25	1,85

Figura 27. Características panel sandwich



2.2.3 NORMATIVA APLICABLE

Para que se pueda construir una estructura de cualquier tipo, ésta tiene que estar ajustada a la normativa vigente en el momento de su diseño, debido a que recoge las simplificaciones que se han de hacer a la hora de proceder a los cálculos estructurales.

Las normativas empleadas durante el diseño y construcción de cualquier edificación en el territorio español son el Código Técnico de la Edificación (CTE), la instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE), instrucción Española de Acero Estructural (EAE) y el Eurocódigo 2 y 3 (diseño de estructuras en hormigón y diseño de estructuras en acero, respectivamente).

Sin embargo, en este proyecto se empleará la normativa vigente del Código Técnico de la Edificación y la Normativa Sismorresistente (NSCE) para el dimensionado del hangar y la instrucción Española del Hormigón Estructural para la cimentación de dicha estructura.

- Código Técnico de la Edificación (CTE).

Este documento está formado por un compendio de requisitos que deben cumplir cualquier estructura que se fabrique en la Península Ibérica y que aseguran la seguridad de las personas que usaran dicha edificación, la protección del medio ambiente y el bienestar de la ciudadanía.

Este compendio de exigencias está formado por las ya derogadas Normas Básicas de la edificación (NBE), las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) y las Soluciones Homologadas de la Edificación (SHE).

Para la realización de este proyecto emplearemos los siguientes documentos que forman parte del CTE:

- DB-SE. Documento Básico – Seguridad Estructural.
- DB-SE-AE. Documento Básico – Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación.
- DB-SE-A. Documento Básico – Seguridad Estructural – Acero.

- Normativa sismorresistente (NSCE).

Esta normativa tiene como objeto proporcionar los criterios que han de seguirse dentro del territorio español para la consideración de la acción sísmica en el proyecto, construcción, reforma y conservación de las edificaciones.

La finalidad última de estos criterios es la de evitar la pérdida de vidas humanas y reducir el daño y el coste económico que puedan ocasionar terremotos futuros.

-EHE. Instrucción de hormigón estructural.

Norma aplicable a las estructuras y elementos de hormigón estructural, incluido el hormigón en masa, armado y pretensado.

Esta normativa se empleará para el cálculo de la cimentación propia que llevará el hangar durante su construcción.



-Normas UNE. Conjunto de normas tecnológicas creadas por Comités Técnicos de Normalización (CTN).

- UNE-EN 1168: Placas alveolares
- UNE-EN 10025: Productos laminados en caliente de acero no aleado.

2.2.4 ACCIONES SOBRE LA EDIFICACIÓN

Antes de poder diseñar cualquier elemento estructural tendremos que saber cuáles van a ser las acciones a las que estará sometida una vez se lleve a cabo su construcción.

Para el tipo de estructura que nos ocupa, seguiremos una parte de la normativa vigente (Código Técnico de la Edificación). En este caso será la DB-SE-AE.

Por tanto las acciones que actuarán en nuestra estructura serán las siguientes.

- **Acciones permanentes**
 - Peso propio
- **Acciones variables**
 - Sobrecarga de uso
 - Viento
 - Acciones térmicas
 - Nieve
- **Acciones accidentales**
 - Sismo

A continuación se expondrá el procedimiento a seguir para el cálculo de las distintas acciones según el CTE. Posteriormente se indagará más en las ecuaciones que rigen dichos cálculos, dicho desglose se hará en el tema 3 destinado al cálculo de las acciones sobre la estructura.



2.2.4.1 ACCIONES PERMANENTES

Este tipo de acciones son las propias de cada tipo de estructura y de los elementos que la forman.

- **PESO PROPIO, P**

El peso propio que se tendrá en cuenta en este proyecto será el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, todo tipo de carpintería, revestimientos (como pavimentos, guarnecidos, enlucidos y falsos techos) y equipo fijo.

Para poder estudiar cada tipo de elemento emplearemos el Anejo C del DB-SE-AE en el que nos aparecen los pesos de los materiales y elementos constructivos típicos.

En el caso de nuestro hangar podemos distinguir tres tipos de acciones permanentes a tener en cuenta.

- **Pórticos:** soportan el peso de la cubierta de las correas de la cubierta con la finalidad de soportar las inclemencias meteorológicas que afectan a la cubierta.
- **Correas de cubierta:** soportan la cubierta, junto con los elementos de impermeabilización y de sujeción.
- **Forjado de la planta de oficinas:** soporta el peso del pavimento destinado a las oficinas, así como la tabiquería de la misma.
 - Solado de oficina, colocado directamente sobre el forjado.
 - Tabiquería de oficinas.

2.2.4.2 ACCIONES VARIABLES

Son las acciones provocadas por el uso al que se destinará la edificación y las producidas por las inclemencias meteorológicas en momentos puntuales de la vida útil de la edificación

- **SOBRECARGA DE USO**

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de uso.

Por lo general, los efectos de la sobrecarga de uso pueden simularse por la aplicación de una carga uniformemente distribuida. De acuerdo con el uso fundamental en cada zona del mismo, como valores característicos se adoptarán los de la Tabla 3.1 del DB-SE-AE. Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, etc. Así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario en caso de producirse un traslado.



- **VIENTO**

Para el cálculo de las acciones que ejerce el viento tendremos que tener en cuenta la forma y las dimensiones de la construcción, las características y permeabilidad de sus superficies y las componentes del viento. Éstas últimas las obtendremos a partir de la región geográfica en la que se ubica nuestra estructura.

Generalmente la acción del viento se modela como una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, cuyo valor variará dependiendo del grado de inclinación en el que sople el viento.

- **ACCIONES TÉRMICAS**

Este artículo de la normativa refleja las deformaciones que sufren los edificios y sus elementos debido a las variaciones de la temperatura ambiente exterior (gradientes térmicos). La magnitud de las mismas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación de la exposición del edificio, las características de los materiales constructivos y de los acabados o revestimientos, y del régimen de calefacción y ventilación interior, así como del aislamiento térmico.

- **NIEVE**

La distribución y la intensidad de la carga de nieve dependen de la disposición geográfica de la estructura (debido a que dependiendo de donde esté ubicada habrá unas condiciones climatológicas u otras), de la geometría de la cubierta y del relieve del entorno.

Para el cálculo de la carga de nieve, nosotros emplearemos el DB-SE-AE en su apartado 3.5.1.

2.2.4.3 ACCIONES ACCIDENTALES

- **SISMO**

Las acciones provocadas por sacudidas sísmicas no están recogidas en el DB-SE-AE, por ello utilizaremos la NSCE, norma de construcción sismorresistente: **parte general y edificación**.

A pesar de que España no es una zona en la que la actividad sísmica sea muy grave, hay que tener en cuenta esta normativa para poder introducir las posibles acciones que ejercería un sismo sobre nuestra estructura.

Esta Norma es de aplicación a cualquier proyecto, construcción o conservación de una edificación de nueva planta.



2.2.4.4 ACCIONES DEL TERRENO, Q_{Terr}

Por último, las acciones debidas al empuje, activo o pasivo, que ejerce el terreno sobre las partes del edificio en contacto directo con él, son las denominadas acciones del terreno.

Dependiendo de la zona en la que esté nuestro elemento estructural serán de una forma o de otra, ya que son acciones que dependen del tipo de terreno sobre el que se asienta la estructura. La normativa empleada los clasifica de la siguiente forma:

- Rocas: formaciones geológicas sólidas, con notable resistencia a compresión. estas se agrupan en:
 - Rocas isótropas.
 - Rocas estratificadas.
- Terrenos sin cohesión: terrenos formados fundamentalmente por áridos, es decir, grava, arena y limo inorgánico. Además pueden contener arcillas en cantidad moderada. Predomina en ellos la resistencia debida al rozamiento. Se clasifican en:
 - Terrenos de graveras.
 - Terrenos arenosos gruesos.
 - Terrenos arenosos finos.
- Terrenos coherentes: formados fundamentalmente por arcillas, que pueden contener áridos en cantidad moderada. Al secarse forman terrones muy compactos, haciendo difícil su descomposición por medio del uso de las manos. Predomina en ellos la resistencia debida a la cohesión. Según su consistencia y su resistencia a compresión en estado natural no alterado. Se clasifican en:
 - Terrenos arcillosos duros.
 - Terrenos arcillosos semiduros.
 - Terrenos arcillosos blandos.
 - Terrenos arcillosos fluidos.
- Terrenos deficientes: terrenos en general no aptos para la cimentación. Entre ellos se encuentran los siguiente:
 - Fangos inorgánicos.
 - Terrenos orgánicos
 - Terrenos de relleno o echadizos.



2.2.5 VERIFICACIONES

A la hora de trabajar con CYPE, y más concretamente el Generador de Pórticos, hay que tener en cuenta que el programa internamente realiza las verificaciones expuestas a continuación con la finalidad de que el dimensionado de la estructura se ajuste a lo recogido por el CTE DB-SE- Seguridad Estructural.

2.2.5.1 ESTADOS LÍMITE

Se denominan estados límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguna de los requisitos estructurales para las que ha sido concebido.

2.2.5.1.1 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Los estados límite últimos son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo. Como estados límite últimos deben considerarse los debidos a:

- Pérdida del equilibrio del edificio, o de una parte estructuralmente independiente considerado como cuerpo rígido.
- Fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de parte de ella en un mecanismo, rotura de sus elementos estructurales o de sus uniones, o inestabilidad de elementos estructurales incluyendo los originados por efectos dependientes del tiempo.

2.2.5.1.2 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Los estados límite de servicio son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento del edificio o a la apariencia de la construcción.

Los estados límite de servicio pueden ser reversibles o irreversibles. La reversibilidad se refiere a las consecuencias que excedan los límites especificados como admisibles, una vez desaparecidas las acciones que las han producido. Como estados límite de servicio deben considerarse:

- Las deformaciones (flechas, desplomes o asentos) que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones.
- Las vibraciones que causen una falta de confort de las personas, o que afecten a la funcionalidad de la obra.
- Los daños o el deterioro que pueden afectar desfavorablemente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.

El CTE también recoge las verificaciones que se deben hacer una vez dimensionada la estructura.

2.2.5.2 VERIFICACIONES BASADAS EN COEFICIENTES PARCIALES

En la verificación de los estados límite mediante coeficientes parciales, para la determinación del efecto de las acciones, así como de la respuesta estructural, se utilizan los valores de cálculo de las variables, obtenidos a partir de sus valores característicos, u otros valores representativos, multiplicándolos o dividiéndolos por los correspondientes coeficientes parciales para las acciones y la resistencia, respectivamente.

Se considera que hay suficiente estabilidad del conjunto del edificio o de una parte independiente del mismo, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición, mostrada en la Ecuación 1.

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$$

Ecuación 1

Siendo:

$E_{d,dst}$ Valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras.

$E_{d,stb}$ Valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras.

Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición representada en la Ecuación 2.

$$E_d \leq R_d$$

Ecuación 2

Siendo:

E_d Valor de cálculo del efecto de las acciones.

R_d Valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

Combinación de acciones

El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de la expresión mostrada en la Ecuación 3.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{k,i}$$

Ecuación 3

Siendo:

$\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}$ Acción simultánea de todas las acciones permanentes.

$\gamma_P \cdot P$ Pretensado

$\gamma_Q \cdot Q_k$ Acción simultánea de una acción variable cualquiera debiendo adaptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis.

$\gamma_Q \cdot \Psi_0 \cdot Q_k$ Acción simultánea de todas las demás acciones variables.

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la Figura 28. Para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable.

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Figura 28. Valores del coeficiente de seguridad

Los valores de los coeficientes de simultaneidad, Ψ , se establecen en la Figura 29.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (Ψ)

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)	⁽¹⁾		
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

⁽¹⁾ En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Figura 29. Valores del coeficiente de simultaneidad



TEMA 3. CÁLCULO DE LAS ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA

Para poder empezar a crear el diseño habrá que realizar el cálculo de las acciones descritas en el apartado 2.2.4 (acciones sobre la edificación), tales como el peso propio, la sobrecarga de uso, la carga de nieve, etc.

A continuación se expondrá de forma más detallada las hipótesis de cálculo seguidas para la obtención de las cargas actuantes en la estructura de este proyecto.

3.1 PESO PROPIO

Cualquier estructura tiene que soportar su propio peso, que vendrá definido según el tipo de material con el que se fabriquen los elementos estructurales que forman parte de la estructura.

Para hacer el cálculo del peso propio se tendrá que usar el prontuario de perfiles empleado a la hora del diseño de los mismos, por tanto después de hacer el optimizado de la estructura será cuando se calcule el peso propio de los elementos que la conforman, más adelante, tras optimizar la estructura, se obtendrá el peso propio de los perfiles empleados.

Para poder realizar el forjado de oficinas, habrá que introducir las cargas de peso propio que actúan sobre los pilares que le sustentan.

Haciendo uso del CTE se pueden obtener los pesos propios de los distintos elementos que van a estar incluidos en el forjado.

Para el pavimento del forjado de oficinas se empleará la tabla C.3 del CTE. Que está representada la Figura 30.

Tabla C.3 Peso por unidad de superficie de elementos de pavimentación

Materiales y elementos	Peso kN/m ²	Materiales y elementos	Peso kN/m ²
Baldosa hidráulica o cerámica (incluyendo material de agarre)		Linóleo o loseta de goma y mortero	
0,03 m de espesor total	0,50	20 mm de espesor total	0,50
0,05 m de espesor total	0,80	Parque y tarima de 20 mm de espesor sobre rastreles	0,40
0,07 m de espesor total	1,10	Tarima de 20 mm de espesor rastreles recibidos con yeso	0,30
Corcho aglomerado		Terrazo sobre mortero, 50 mm espesor	0,80
tarima de 20 mm y rastrel	0,40		

Figura 30. Peso para el forjado de oficinas

Para los tabiques que separan las distintas oficinas se empleará la tabla C.4 del CTE, representado en la Figura 31.

Tabla C.4 Peso por unidad de superficie de tabiques

Tabiques (sin revestir)	Peso kN/m ²	Revestimientos (por cara)	Peso kN/m ²
Rasilla, 30 mm de espesor	0,40	Enfoscado o revoco de cemento	0,20
Ladrillo hueco, 45 mm de espesor	0,60	Revoco de cal, estuco	0,15
de 90 mm de espesor	1,00	Guarnecido y enlucido de yeso	0,15

Figura 31. Peso de los tabiques de separación

Finalmente, para el forjado unidireccional que se apoyará sobre los dinteles de las oficinas se empleará la tabla C.5 del CTE, representada por la Figura 32.

Tabla C.5 Peso propio de elementos constructivos

Elemento	Peso
Forjados	kN / m²
Chapa grecada con capa de hormigón; grueso total < 0,12 m	2
Forjado unidireccional, luces de hasta 5 m; grueso total < 0,28 m	3
Forjado uni o bidireccional; grueso total < 0,30 m	4
Forjado bidireccional, grueso total < 0,35 m	5
Losa maciza de hormigón, grueso total 0,20 m	5

Figura 32. Peso del forjado de hormigón

La cubierta que llevará el forjado de oficinas será de chapa y para obtener su peso propio se empleará la tabla C.5 del CTE, la cual viene representada en la Figura 33.

Cubierta, sobre forjado (peso en proyección horizontal)	kN / m²
Faldones de chapa, tablero o paneles ligeros	1,0
Faldones de placas, teja o pizarra	2,0
Faldones de teja sobre tableros y tabiques palomeros	3,0
Cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida	1,5
Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,5

Figura 33. Carga de la cubierta de oficinas

Por tanto las cargas de peso propio que afectarán a la estructura serán las siguientes, reunidas en la Tabla 4.

Elemento	Peso (kN/m)
Perfiles	
HE 220 A	50.5
HE 300 B	117
HE 500 A	155
HE 550 B	199
UPN 140 (doble)	32
IPN 140	14.4
IPN 220	31.1
IPN 270	48
IPN 300	54.1
Forjado de oficinas	
Pavimento	1.1
Tabiques	1
Forjado	3
Cubierta, sobre forjado	1

Tabla 4. Pesos propios actuantes en la estructura

3.2 SOBRECARGA DE USO

Según el código técnico de la edificación la sobrecarga de uso deberá calcularse usando la tabla 3.1 (valores característicos de las sobrecargas de uso), mostrada a continuación en la Figura 34.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)	0,4 ⁽⁵⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Figura 34. Valores de la sobrecarga de uso

A la vista de los datos reflejados en la tabla se puede llegar a la conclusión de que la categoría de uso del hangar será la G (cubiertas accesibles únicamente para conservación), la subcategoría de uso será la G1 (cubierta solamente es accesible para su mantenimiento) y dentro de esa subcategoría se enmarcará en la de cubiertas ligeras con inclinación inferior a 20°.

Debido a estos datos se puede utilizar un valor para la carga de mantenimiento:

$$q_{su} = 1 \text{ kN/m}^2$$

Dicho valor podrá ser descartado cuando se calcule la carga de nieve, si resulta que el valor de la carga de nieve es más restrictivo que el de la sobrecarga de uso, ya que se realizará la hipótesis de que mientras esté nevando no se realizarán labores de mantenimiento en la cubierta.

3.3 VIENTO

Para realizar el cálculo de la acción del viento sobre la estructura se puede recurrir al CTE en su Documento Básico Acciones sobre la Edificación en el que se plantea una ecuación que habrá que seguir para poder calcular el valor de la carga, dicha ecuación es la mostrada en la Ecuación 4.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Ecuación 4

Siendo:

q_e La presión estática del viento, la cual se puede asumir un valor de 0.5 kN/m^2 . Aun qué si se desea un valor más preciso de dicha carga se tendrá que recurrir al anejo D.

q_b La presión dinámica del viento, para obtener un valor más preciso emplearemos el anejo D del DB-SE-AE.

c_e El coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado y en del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción.

c_p El coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y de la orientación de la superficie respecto al viento.

A continuación se mostrará el cálculo detallado de cada valor de la ecuación anterior.

4.3.1 PRESIÓN ESTÁTICA DEL VIENTO.

Según el anejo D del CTE la ecuación que rige el cálculo preciso de la presión estática del viento es la mostrada en la Ecuación 5:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

Ecuación 5

Siendo δ la densidad del aire y v_b el valor básico de la velocidad del viento.

El valor de la densidad del aire depende entre, otros factores, de la altitud, de la temperatura ambiental y de la fracción de agua en suspensión. En general puede adoptarse un valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$.

El valor básico de la velocidad del viento corresponde al valor característico de la velocidad media del viento a lo largo de un período de 10 minutos.

Con la finalidad de simplificar el cálculo de la presión dinámica se ha dispuesto un mapa de España, en la Figura 35, en el que se delimitan las diferentes zonas, dependiendo del valor básico de la velocidad del viento.

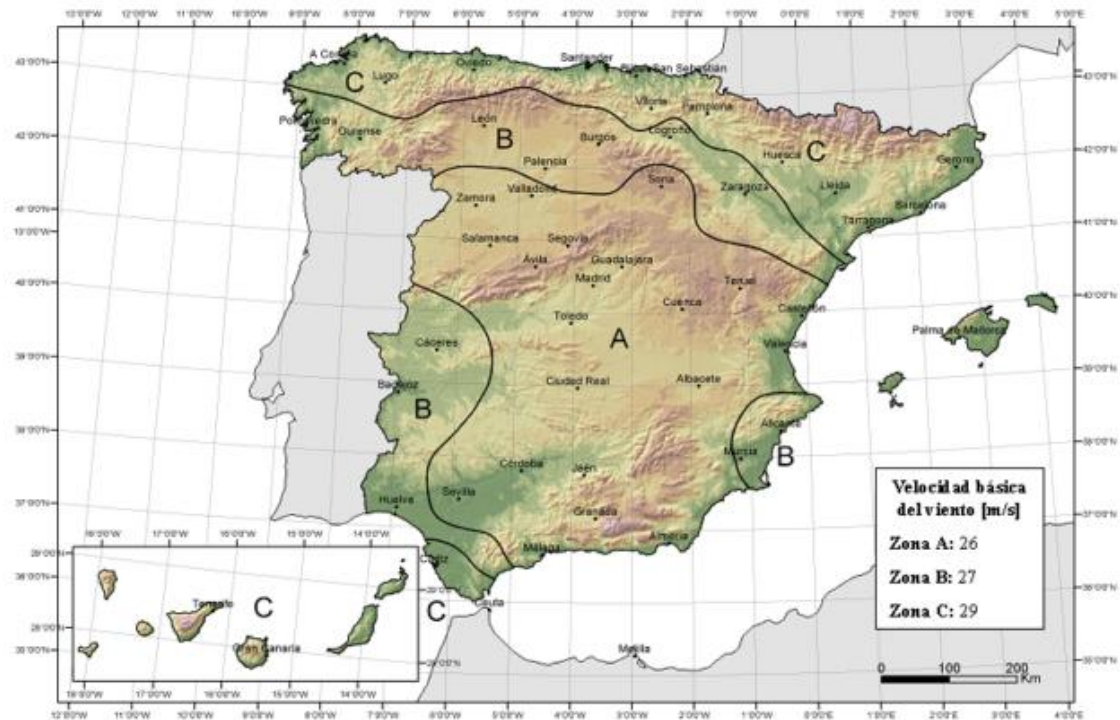


Figura 35. Mapa de las zonas de España

De acuerdo a la Figura 35 y a la Ecuación 5, el valor básico de la velocidad del viento será:

$$q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

3.3.2. COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN

El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la Figura 36.

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura 36. Coeficientes de exposición

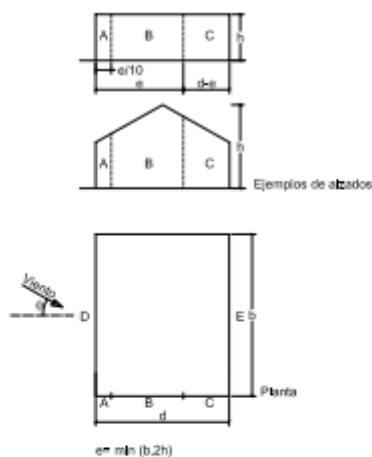
Por tanto, el coeficiente de exposición tendrá un valor de:

$$c_e = 2,1$$

3.3.3. COEFICIENTE EÓLICO O DE EXPOSICIÓN

Debido a que el hangar es una estructura de gran tamaño diáfana se tendrá que realizar el cálculo del coeficiente eólico a partir del Anejo D.3 del CTE DB-SE-AE, expuesto en la Figura 37, puesto que la cubierta es a dos aguas, para poder estar del lado de la seguridad. En este anejo se recogen el pésimo en cada punto debido a varias direcciones de viento, distinguiendo dos tipos de cálculos, uno para los parámetros verticales y otro para la cubierta.

Tabla D.3 Paramentos verticales



A (m ²)	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	"	-0,3

Figura 37. Parámetros verticales del viento

Para poder interpolar linealmente tendremos que dar valores a los diferentes parámetros que se piden en la figura, dichos valores están recogidos en la Tabla 5. Valores de los parámetros:

Parámetro	Valor (m)
b	55
d	40
h	15

Tabla 5. Valores de los parámetros

Para poder delimitar las zonas de acción se deberán realizar los siguientes cálculos, mostrados en las ecuaciones 6, 7 y 8:

$$e = \min(b, 2h) = \min(55, 30) = 30$$

Ecuación 6

$$A = \frac{e}{10} = \frac{30}{10} = 3 \text{ m}$$

Ecuación 7

$$C = d - 3 = 40 - 30 = 10 \text{ m}$$

Ecuación 8

Después de realizar los cálculos pertinentes, se pueden agrupar las zonas de acción en la Tabla 6. Valores de las zonas.

Zona	Longitud (m)
A	3
B	27
C	10

Tabla 6. Valores de las zonas

Una vez delimitadas las zonas de acción de la carga de viento, habrá que obtener el coeficiente de exposición para dicha zona con la tabla de la Figura 37, expuesta anteriormente.

Siendo A el área de influencia del elemento o punto considerado, en esta edificación la $A > 10 \text{ m}^2$. Por tanto, al realizar el cociente h/d se obtiene un valor por debajo de 0.25.

Finalmente el coeficiente de exposición de cada zona será el reflejado en la Tabla 7.

Zona	Coeficiente
A	-1.2
B	-1.2
C	0
D	0.7
E	-0.3

Tabla 7. Coeficientes de exposición

Por tanto, el valor de la carga de viento sobre los parámetros verticales de la estructura, para un ángulo de incidencia de entre $-45^\circ < \theta < 45^\circ$ será el recogido en la Tabla 8.

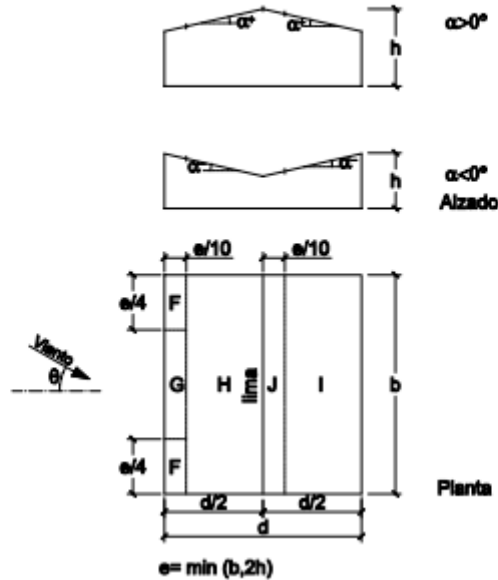
Zona	Carga de viento (kN/m^2)
A	-1.058
B	-1.058
C	0
D	0.617
E	-0.265

Tabla 8. Valores de la carga de viento para cada zona

A continuación se calculará, por medio de la Ecuación 4 y la tabla D.6 del CTE, los valores de la carga de viento que afectan a la cubierta dependiendo de la dirección del viento.

Tabla D.6 Cubiertas a dos aguas

a) Dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$



Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	-0,6
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2
15°	≥ 10	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
	≤ 1	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
30°	≥ 10	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
45°	≥ 10	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
	≤ 1	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
60°	≥ 10	0,7	0,7	0,4	0	0
	≤ 1	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
75°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
90°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
135°	≥ 10	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
180°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

Figura 38. Cubierta a dos aguas I

Usando los datos reflejados en la Figura 38, se pueden obtener los coeficientes de presión exterior necesarios para el cálculo de la carga de nieve sobre la cubierta, para las condiciones de viento anteriores, son los mostrados en la Tabla 9:

Zona (Según la figura)				
F	G	H	I	J
-1,7	-1,2	-0,6		0,2
+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6

Tabla 9. Cubiertas a dos aguas I

Por tanto, el valor de la carga de viento en la cubierta, para una dirección del viento de $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ es el mostrado en la Tabla 10:

Zona	Carga de viento (kN/m ²)
F	-1,5
G	-1,058
H	-0,53
I	0,53
J	0,176 y -0,53

Tabla 10. Carga de viento para cubierta I

A continuación, habrá que calcular el valor de la carga de viento para una dirección del viento de $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$. Para ello se va a utilizar la Figura 39.

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$			
		F	G	H	I
-45°	≥ 10	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9
	≤ 1	-2,0	-2,0	-1,3	-1,2
-30°	≥ 10	-1,5	-1,2	-1,0	-0,9
	≤ 1	-2,1	-2,0	-1,3	-1,2
-15°	≥ 10	-1,9	-1,2	-0,8	-0,8
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-1,2
-5°	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	-0,6
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-1,2
5°	≥ 10	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
	≤ 1	-2,2	-2,0	-1,2	-0,8
15°	≥ 10	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
	≤ 1	-2,0	-2,0	-1,2	-0,5
30°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
45°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
60°	≥ 10	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,0	-0,5
75°	≥ 10	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,0	-0,5

Figura 39. Cubierta a dos aguas II

Usando estos valores y los calculados anteriormente, se puede obtener los valores de la carga de viento para una dirección del viento de $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$, mostrados en la Tabla 11:

Zona	Carga de viento (kN/m ²)
F	-1,411
G	-1,147
H	-0,617
I	0,529

Tabla 11. Carga de viento para cubierta II

3.4 NIEVE

El código técnico recoge una serie de fórmulas destinadas al cálculo de las cargas producidas por la nieve, la primera de ellas es la mostrada en la Ecuación 9:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Ecuación 9

Siendo:

- q_n La carga de nieve por unidad de proyección horizontal.
- μ Coeficiente de forma de la cubierta según el apartado 3.5.3 del CTE en su documento DB-SE-AE.
- s_k El valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según el apartado 3.5.2 del CTE en su documento DB-SE-AE.

Para calcular el valor característico de la carga de nieve sobre terreno horizontal se utilizará la Figura 40, que se muestra a continuación, y la cual corresponde con el valor de dicho parámetro en las capitales de provincias españolas.

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,7
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,2
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,9
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,4
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,2
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,9
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	550	0,5
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,2
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	690	0,4
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,7
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,4
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,5
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,2
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla		

Figura 40. Valor característico de la carga de nieve

Por tanto, el valor del coeficiente de forma será el siguiente:

$$s_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

Para tomar obtener el valor del coeficiente de forma, el CTE, tipifica que para cubiertas con inclinaciones menores a 30°, el valor que tome el coeficiente de forma sea 1, y para pendientes mayores de 60° tome el valor de 0, entre estos dos valores habrá que interpolar.

Al tener la cubierta una pendiente de 5.71° el valor del coeficiente de forma será 1 para toda la cubierta.



Finalmente habrá que introducir los parámetros obtenidos anteriormente en la ecuación inicial del cálculo de la carga de nieve, obteniendo el siguiente resultado:

$$q_n = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

3.5 ACCIONES TÉRMICAS

Estas acciones pueden ser desestimadas si, en elementos estructurales de acero u hormigón, se han dispuesto juntas de dilatación de tal forma que no haya elementos continuos de más de 40 m de longitud. En este proyecto puede llevar a error el pensar que hay elementos continuos de más de 40 m pero no es así puesto que las vigas de atado de los pórticos son vigas de 5 metros de largo dispuestas una junto a la otra, para evitar tener efectos provocados por las dilataciones y contracciones térmicas.

3.6 SISMO

Para poder determinar el tipo de acciones que se tendrán que tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos sobre la estructura, la Norma Sismorresistente, indica que primero habrá que determinar la importancia que tiene la estructura en el caso de que haya derrumbe de la misma. Por ello, se tiene en cuenta el uso al que se destinará la edificación y los daños, económicos y humanos, que ocasionaría su destrucción. Atendiendo a estos criterios, la importancia de la estructura puede clasificarse en lo siguiente:

- **Importancia moderada:** aquellas estructuras que tienen una probabilidad despreciable de que ocasionen víctimas, interrumpiera un servicio primario o produjera daños económicos significativos a terceros, durante su destrucción.
- **Importancia normal:** aquellas estructuras cuya destrucción a causa del sismo pueda producir víctimas, interrumpa un servicio importante para terceros, o produzca importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso sea un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a daños catastróficos.
- **Importancia especial:** aquellas cuya destrucción por el sismo pueda ocasionar efectos catastróficos o pueda interrumpir un servicio para la colectividad.

Por tanto, y de acuerdo a los daños estimados que puede provocar el derrumbe de esta estructura, se procederá a catalogarla dentro de la categoría importancia normal.

La Norma se aplicará a construcciones de importancia normal excepto cuando la aceleración sísmica básica, a_b sea menor a 0,04g (siendo “g” el valor de la aceleración de la gravedad).



Figura 41. Valores de la aceleración de la gravedad en España

Como se puede observar en la Figura 41, el valor de la aceleración sísmica básica para la localidad de Getafe está comprendido entre 0.04g y 0.08g. Por tanto, la normativa sismorresistente para las edificaciones de importancia normal tendría que ser aplicada. Sin embargo, la Comunidad de Madrid tiene una aceleración sísmica menor de 0.06g, por lo tanto, no se tendrá que tener en cuenta las acciones sísmicas en el diseño de este hangar.

3.7 ACCIONES DEL TERRENO

Las acciones del terreno no son una carga que afecte a la vida útil del hangar como tal. Aun así se ha decidido incluir el cálculo de la presión admisible del terreno debido a que son clave para la realización de la cimentación sobre la que apoyará la estructura del hangar.

La normativa recoge unos valores característicos, recogidos en la Figura 42, dependiendo del tipo de suelo que forme la parcela sobre la que se ubicará el hangar.

Naturaleza del terreno	Presión admisible en Kg/cm ² para profundidad de cimentación en m de:				
	0	0.5	1	2	≥3
ROCAS					
No estratificadas	30	40	50	60	60
Estratificadas	10	12	16	20	20
TERRENOS SIN COHESIÓN					
Graveras	-	4	5	6.3	8
Arenosos gruesos	-	2.5	3.2	4	5
Arenosos finos	-	1.6	2	2.5	3.2
TERRENOS COHERENTES					
Arcillosos duros	-	-	4	4	4
Arcillosos semiduros	-	-	2	2	2
Arcillosos blandos	-	-	1	1	1
Arcillosos fluidos	-	-	0.5	0.5	0.5
TERRENOS DEFICIENTES					
Fangos	En general resistencia nula, salvo que se determine experimentalmente el valor admisible.				
Terrenos orgánicos					
Rellenos sin consolidar					

Figura 42. Valores de presión admisible del terreno

En este caso al tratarse de un edificio ubicado en un recinto industrial se hará la consideración de que el terreno es coherente arcilloso semiduro, cuya tensión admisible es la siguiente:

$$Tensión\ admisible\ del\ terreno = 2.00\ Kg/cm^2$$



3.8 COMBINACIONES DE ACCIONES

Una vez calculadas todas las acciones sobre la estructura habrá que establecer las combinaciones entre ellas para que se simule el comportamiento real de la estructura a la perfección.

En este proyecto se han tomado las siguientes hipótesis de cálculo de las combinaciones de acciones

- PP Peso propio
- Q1 Forjado oficinas
- V(0°) H1 Viento a 0°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
- V(0°) H2 Viento a 0°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior
- V(90°) H1 Viento a 90°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
- V(180°) H1 Viento a 180°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
- V(180°) H2 Viento a 180°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior
- V(270°) H1 Viento a 270°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
- N(EI) Nieve (estado inicial)
- N(R) 1 Nieve (redistribución) 1
- N(R) 2 Nieve (redistribución) 2

Para realizar las combinaciones de estas hipótesis se van a emplear las ecuaciones de los estados límite, expuestas al principio del proyecto, y mostradas en la Ecuación 10.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,i}$$

Ecuación 10

Los coeficientes de combinación y de seguridad referentes a cada una de las acciones actuantes son los que se muestran a continuación en la Tabla 12, para el cálculo de la cimentación, y en la Tabla 13, para el cálculo de la estructura.



Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.600	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.600	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.600	1.000	0.500

Tabla 12. E.L.U de rotura para hormigón de la cimentación

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500

Tabla 13. E.L.U de rotura para acero laminado



TEMA 4. CÁLCULO DEL HANGAR CON CYPE

4.1 PREDISEÑOS TENTATIVOS

Previo al cálculo de la estructura final se expondrán los prediseños tentativos realizados para cumplir las solicitaciones de las cargas y el análisis de por qué se han desestimado a la hora de realizar el diseño final.

Prediseño 1: pórtico en celosía

El primer diseño que se realizó fue el de un pórtico en el que tanto los pilares como los dinteles fueran en celosía, como se puede comprobar en la Figura 43. La decisión de escoger este diseño fue porque la luz que se tiene que salvar en este caso es mucho mayor que la que se tiene que salvar en un proyecto de una nave industrial cualquiera, por tanto, las cargas a las que estaría sometida la estructura serían mayores.

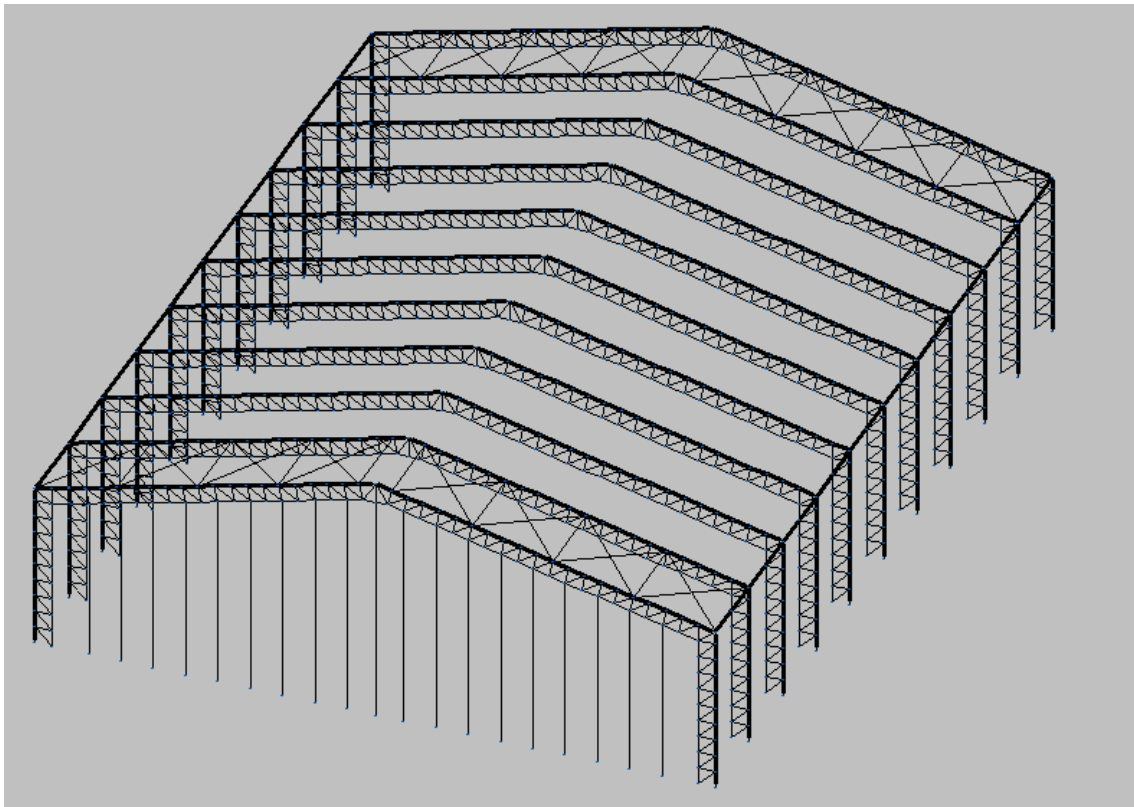


Figura 43. Hangar con pórticos en celosía

Debido a que la estructura soportaba muy bien las cargas se pudo llegar a la conclusión de que sería la definitiva, pero al comprobar el peso de acero que se tendría que utilizar para realizarla (323.900 kg) se llegó a la conclusión de que el presupuesto que se destinaría para esta obra tendría que ser muy elevado.

Por ello, el prediseño 1 fue descargado para dar paso a un prediseño en el que las celosías de los pilares no hicieran falta.

Prediseño 2: viga en celosía

Tras descartar la opción de que todo el pórtico fuera en celosía, se llegó a la optimización de que solo el dintel fuera en celosía, mediante la utilización de una viga en celosía, como se puede observar en la Figura 44.

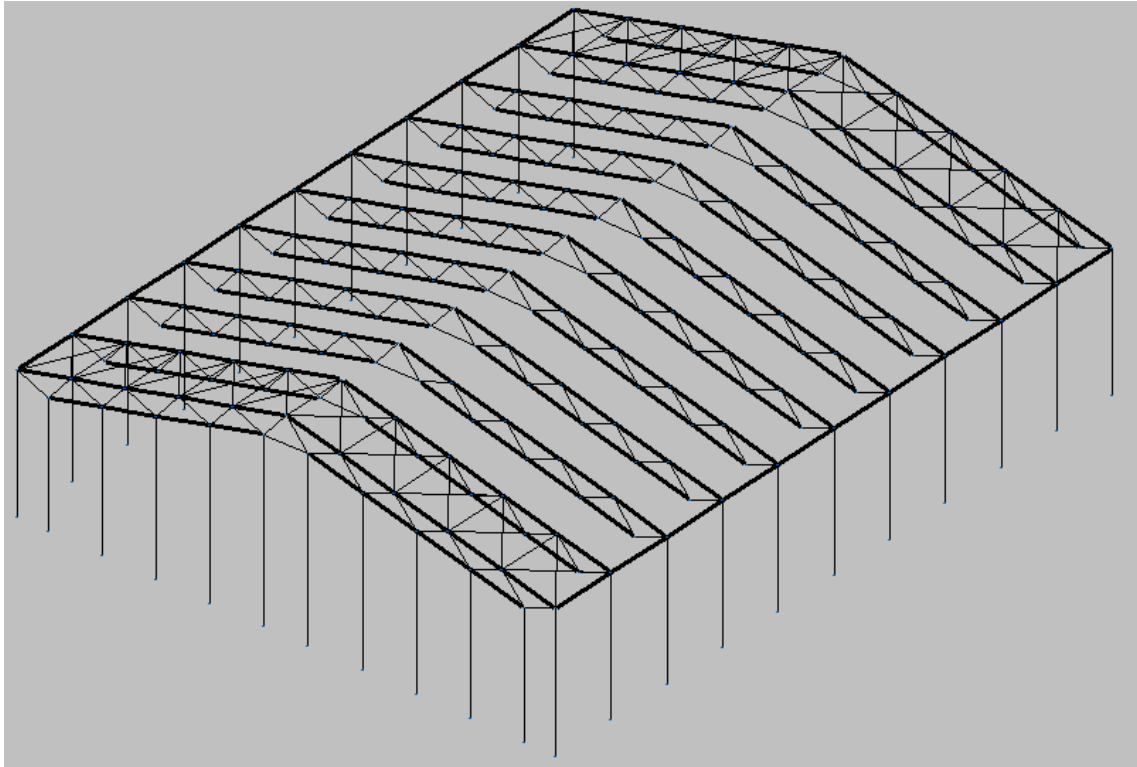


Figura 44. Viga en celosía

Como es de esperar la cantidad de acero que se emplearía en este proyecto sería mucho menor que la empleada en el caso anterior (227.914,70 kg concretamente) con lo cual el coste de la obra sería mucho menor. Pero al tener que instalar los dinteles en celosía se obtenía una limitación de la altura impuesta por el tamaño de la cercha empleada. Por ello, se decidió descartar este diseño a la espera de realizar un diseño aún más simplificado para comprobar que se cumplían todos los requerimientos.

Prediseño 3: pórtico simple

Finalmente se empleó esta opción para comprobar si simplificando al máximo la tipología de la estructura se llegaba a cumplir con la sollicitación de cargas expuesta en los requerimientos de la estructura. Tras realizar el diseño en el software CYPE, se llegó a la estructura mostrada en la Figura 45.

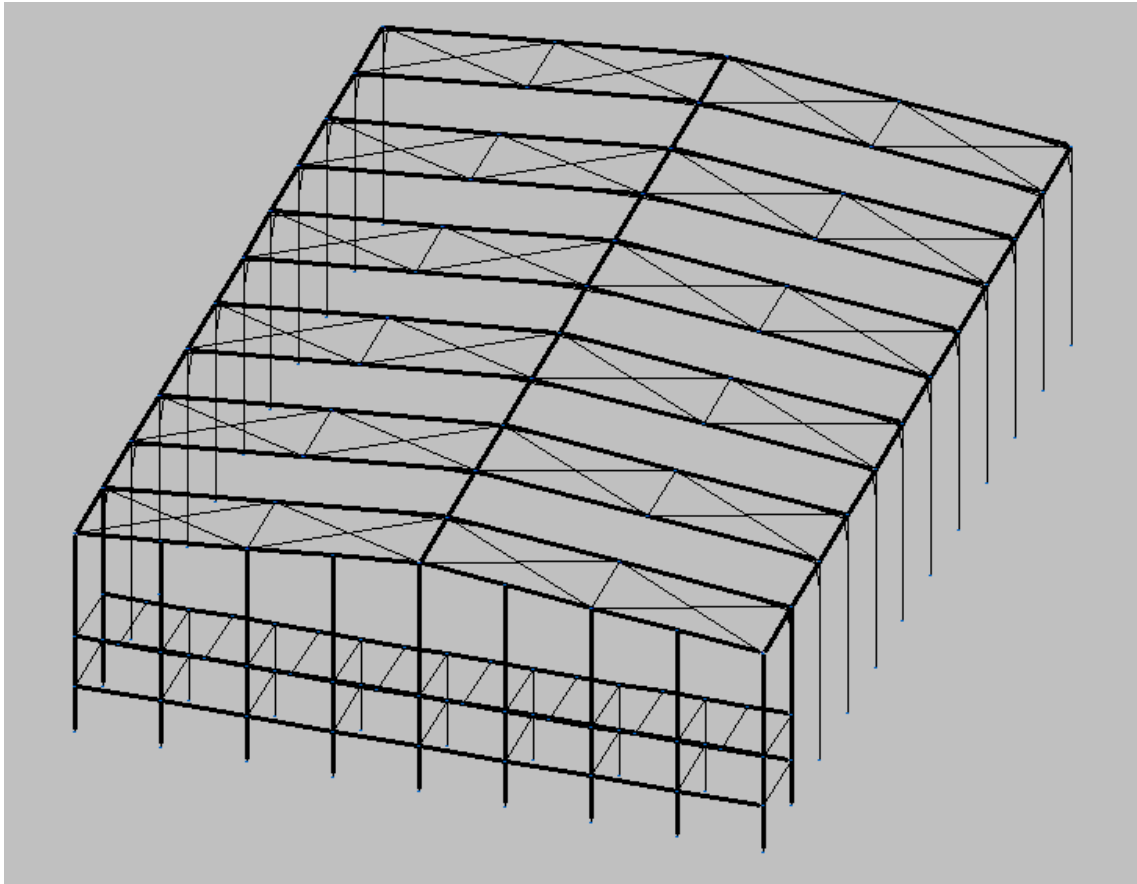


Figura 45. Pórtico simple

Como se puede observar en la figura se ha añadido la planta de oficinas impuesta en los requerimientos de la obra. A pesar de la incorporación del forjado de oficinas, el peso de la estructura sigue siendo mucho menor que el de los dos diseños anteriores, concretamente la cantidad de acero que se emplea es de 176.288,70 kg.

Además el perfil seleccionado para la estructura no tiene unas dimensiones excesivas, con lo cual la generación de este hangar será factible y además el coste de la misma será inferior al que se obtendría con las tipologías anteriores.

A continuación se partirá de este diseño para realizar todos los cálculos necesarios para la obtención final de este proyecto.

A continuación, se mostrarán los pasos a seguir para poder generar el diseño escogido anteriormente del hangar en el software comercial CYPE Ingenieros, así como la interpretación técnica de los resultados obtenidos.

En este programa se introducen los datos generales que van a actuar en la obra y las características de la edificación con la finalidad de construir un modelo informático, capaz de ser resuelto por los algoritmos matriciales que vienen incluidos en la programación del software.

4.2 GENERADOR DE PÓRTICOS

En este módulo del programa se tendrá que escoger el tipo de pórtico que se usará para sustentar las cargas actuantes en la estructura del hangar.

El módulo posee varios pórticos tipo, descritos al inicio de este proyecto, que pueden servir de plantilla para realizar el modelo matemático del hangar a realizar.

Lo primero que se tendrá que realizar a la hora de usar el generador de pórticos será asignar los valores generales de la obra. En este caso se emplearán los recogidos en la Tabla 14:

Dato	Valor
Número de vanos	11
Separación entre vanos	5 m
Con cerramiento en cubierta	8.45 kg/m ²
Con cerramiento lateral	285.43 kg/m ²

Tabla 14. Valores empleados en el generador de pórticos

Se empleará 11 vanos con una separación de 5 metros entre sí puesto que así los esfuerzos provocados por la flexión serán menores y no habrá que usar perfiles muy grandes para el atado de los pórticos. Se introducen estos parámetros para que luego, cuando se exporte el pórtico al siguiente módulo, los valores de las cargas se exporten correctamente.

Los valores del peso del cerramiento de la cubierta y el del lateral son los propuestos por los proveedores panelsandwich.org y Prainsa, respectivamente.

También habrá que introducir la situación geográfica en la que se emplaza el hangar, puesto que de esa forma, el Generador de Pórticos, será capaz de introducir los valores de viento y nieve propios de esa región en las ecuaciones matriciales que permiten verificar las correas, que se dimensionarán posteriormente. Además, el programa exportará los datos obtenidos de las acciones de viento y nieve al módulo del Metal 3D, para poder trabajar sobre él.

Una vez introducidos los valores generales de la obra habrá que decidir qué tipo de pórtico se empleará para salvar la luz de 40 metros propia de este proyecto. Por tanto, se usará el catálogo de pórticos incorporado en el Generador de Pórticos.

De todos los tipos de pórticos que el programa tiene guardados se empleará uno rígido a dos aguas, puesto que si cumple será el que menos gasto de acero emplee, lo que se traducirá en un ahorro de dinero de cara a presupuestar el hangar. Una vez seleccionado el pórtico se le introducirán las dimensiones del hangar.

Una vez introducidas las dimensiones del hangar habrá que determinar el muro perimetral propio del cerramiento de paneles de hormigón, al seleccionar esta opción, se generará un coeficiente de pandeo $\beta=0$ para los pilares perimetrales impidiendo que pandeen, debido a que las placas de hormigón estarán embebidas dentro de los pilares, puede observarse la disposición del cerramiento de hormigón en la Figura 46.

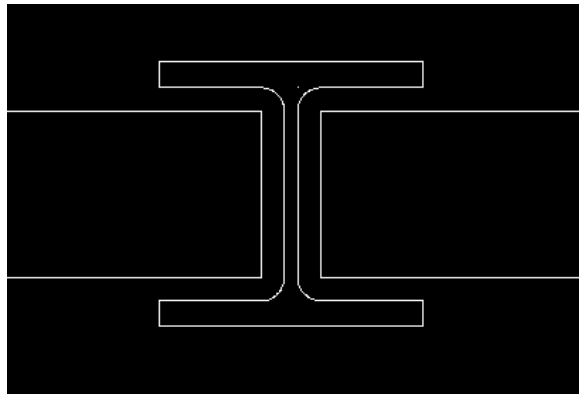


Figura 46. Disposición de los paneles de hormigón

Ahora que el pórtico está definido habrá que dimensionar las correas que arriostrarán la cubierta y que servirán de sustento para los paneles sándwich que se emplearán como cerramiento.

Para poder optimizarlas al máximo, el programa incluye una opción para su dimensionado en el que analiza las acciones de viento y nieve (introducidas anteriormente) y las coteja con las características de las correas empleadas típicamente en la construcción.

Una vez dimensionado el pórtico y sus correas se pasará a exportar todos los datos obtenidos al módulo Metal 3D para poder terminar de completar las vigas y los pórticos que se necesitan.

4.3 METAL 3D

Una vez exportado el pórtico al siguiente módulo aparecerá éste en la pantalla y también se habrán exportado todas las cargas actuantes, calculadas en el módulo anterior.

A continuación se procederá a la creación de las barras que irán formando los pilares y las vigas que sustentarán el hangar, una vez realizadas todas las barras de la estructura, la estructura tendrá la disposición de la Figura 47:

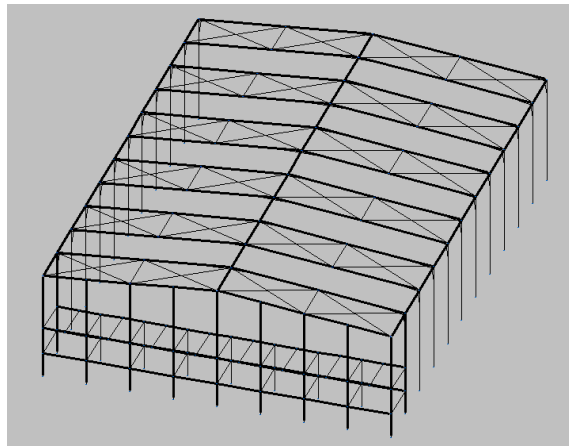


Figura 47. Unifilar de la estructura

4.3.1 AGRUPACIÓN DE BARRAS

Para evitar tener que estar introduciendo valores en cada una de las barras, o cambiando una por una cuando se realicen las optimizaciones de la estructura, el programa CYPE Ingenieros posee una función que permite agrupar varios conjuntos de barras con la finalidad de que todo lo que se le haga al grupo afecte a cada barra.

De esta forma se obtendrán los siguientes grupos:

Pilares laterales

Este grupo está formado por todos los pilares centrales del perímetro del hangar, puesto que la estructura es diáfana. Se van a agrupar solamente los pilares que estén en el mismo muro debido a que, como se verá más adelante, se introducirán cartelas, que impiden que se agrupen todos los pilares de los dos laterales del hangar. Se puede observar la agrupación de los pilares en la Figura 48.

Aunque se realicen dos grupos de pilares laterales, el perfil de los pilares tendrá que ser el mismo puesto que hay que tener simetría de perfiles, para evitar futuros fallos y roturas.

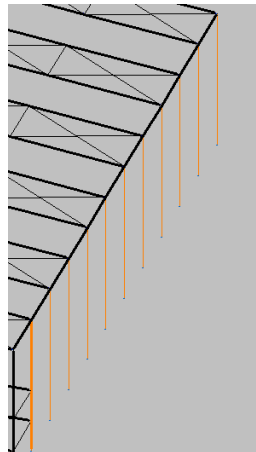


Figura 48. Agrupación de pilares laterales

Pilares del muro piñón

Debido a que se pretende tener el mismo perfil de los pilares en todas las paredes, se van a agrupar todos los pilares que forman el muro piñón, representados en la Figura 49, aunque algunos queden después sobredimensionados. De esta forma se asegura una continuidad de perfiles, que facilita la construcción “in situ” de la estructura.

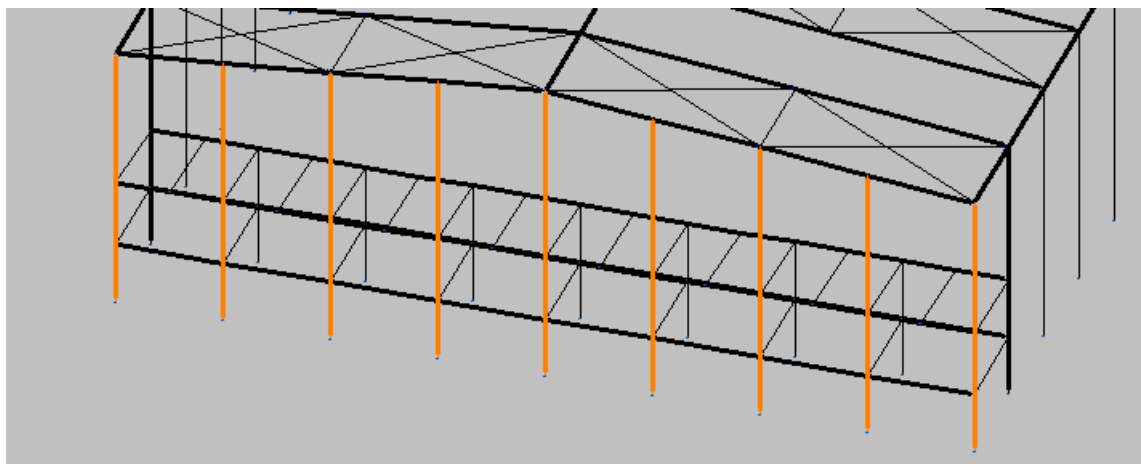


Figura 49. Agrupación de pilares del muro piñón

Pilares del forjado de oficinas

El forjado de oficinas será una entreplanta que estará ubicada en la parte trasera del hangar. En él las cargas actuantes son muy pequeñas en comparación con las que actúan en el resto del hangar. Por este motivo se tendrán que emplear otra serie de perfiles que sean menos resistentes y a la vez menos pesados.

Por ello habrá que realizar una agrupación, como la mostrada en la Figura 50, solamente de los pilares del forjado de oficinas.

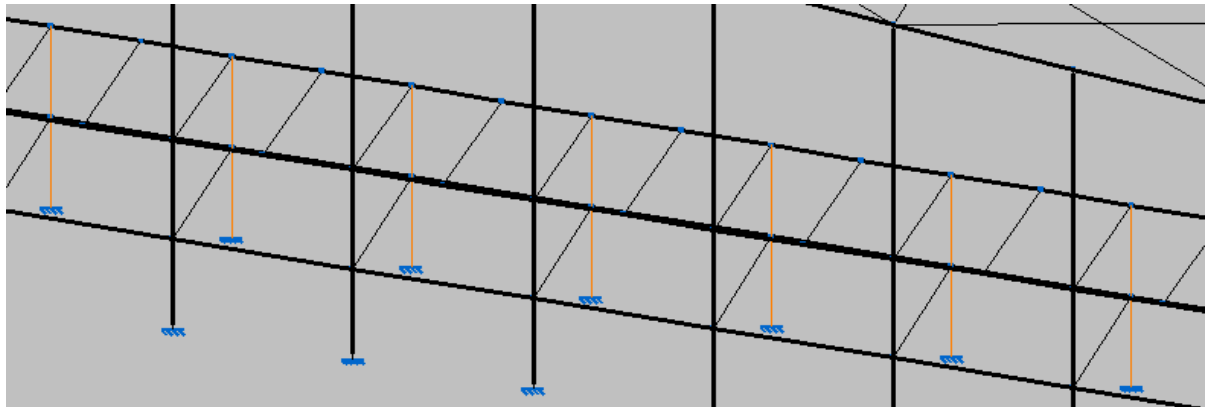


Figura 50. Agrupación de pilares del forjado de oficinas

Dinteles del muro piñón

El muro piñón, al tener más pilares hastiales, podrá utilizar vigas más livianas para formar su dintel, por ello, sólo se van a agrupar las barras que forman el dintel del muro piñón y del pórtico adyacente, mostradas en la Figura 51, debido a que están unidos por las mismas vigas de atado y así se evitan problemas a la hora de calcular las uniones entre ambos.

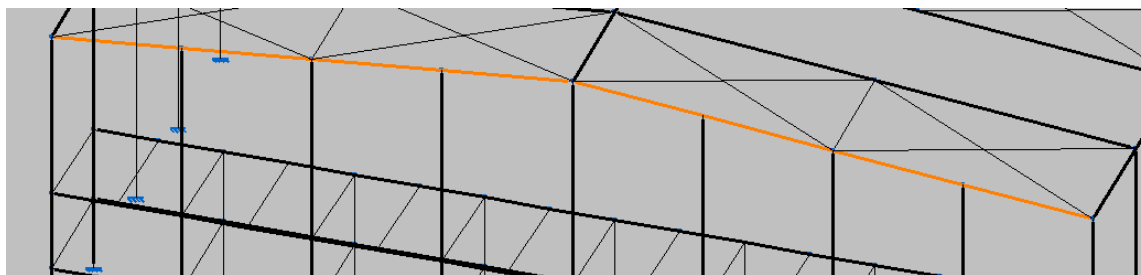


Figura 51. Dintel del muro piñón

Dinteles centrales

En este grupo estarán todas las barras que forman los dinteles hasta la puerta del hangar puesto que empleará en todos el mismo tipo de perfil, aunque esté sobredimensionado en algunas partes del hangar, para poder obtener una continuidad de perfiles a la hora de la construcción de la estructura. La agrupación realizada puede observarse en la Figura 52.

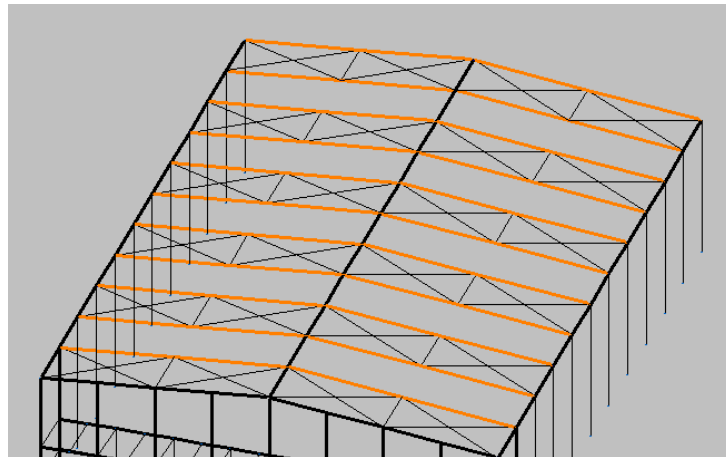


Figura 52. Agrupación de dinteles centrales

Dintel del forjado de oficinas

Para los dinteles del forjado de oficinas se han hecho dos grupos, el primero es el que soportará el forjado de oficinas y el cerramiento, y el segundo será el que solamente tenga que soportar el cerramiento de las oficinas.

Puesto que los dos grupos de barras tienen la misma disposición, se muestra solo la agrupación de barras realizada para el forjado de oficinas en la Figura 53.

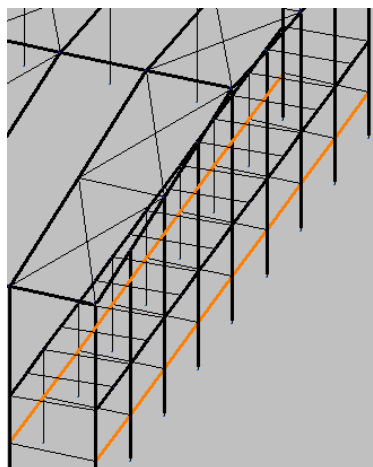


Figura 53. Agrupación de barras para el dintel de las oficinas

Vigas de atado de los pórticos

Para poder unir todos los pórticos entre sí se han tenido que emplear vigas de atado, las cuales tienen que tener todas el mismo tipo de perfil. Por ello, se van a agrupar en el grupo de la Figura 54.

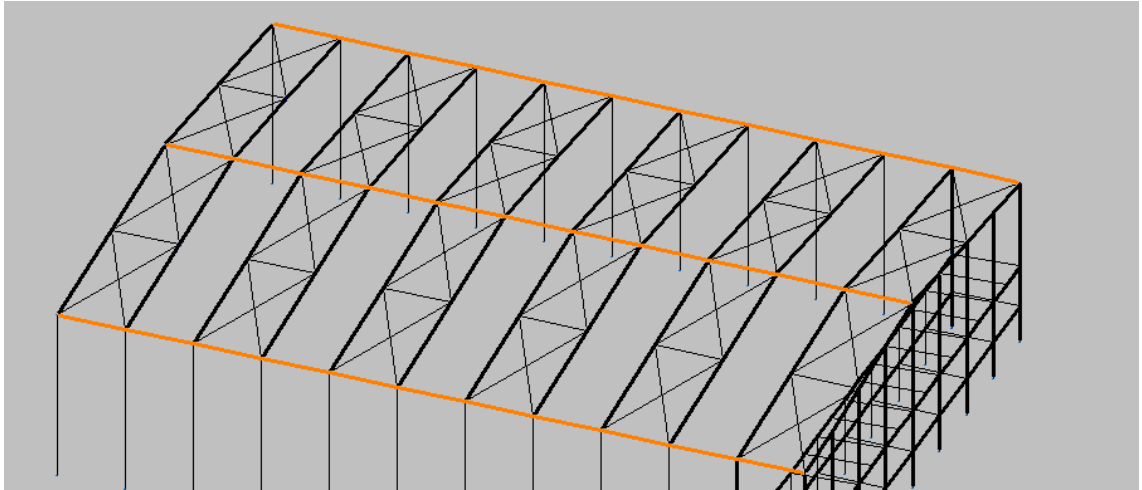


Figura 54. Agrupación de vigas de atado

Vigas de atado para separar los pórticos arriostrados

Una vez realizadas todas las barras, hay que introducir unas cruces de San Andrés, con el fin de arriostrar la estructura en el sentido longitudinal. Para poder introducir unas cruces de San Andrés que no sean excesivamente largas hay que dividir los tramos, para ello se emplean las vigas de atado que entran dentro de este grupo, formado por las barras que aparecen marcadas en la Figura 55.

Además, estas vigas de atado ayudarán a soportar los esfuerzos provocados por el viento y la nieve.

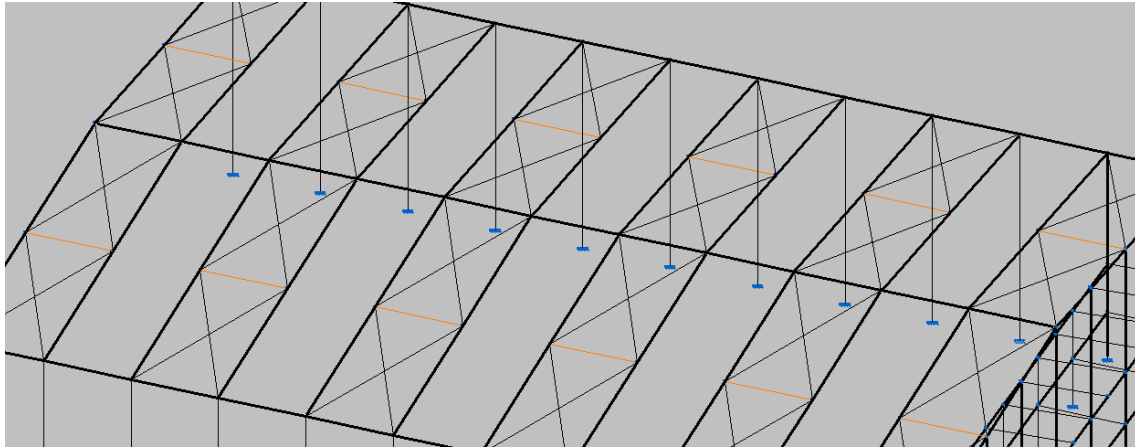


Figura 55. Vigas de atado entre pórticos

Vigas de atado del forjado de oficinas

Al igual que se ha hecho con los dinteles del forjado de oficinas, se van a realizar dos grupos de barras para las vigas de atado, estas vigas de atado no son de mucha utilidad puesto que el propio forjado de hormigón hace las veces de unión entre los pórticos paralelos que conforman las oficinas. Aun así, es bueno introducir las vigas de atado para ayudar a arriostrar las oficinas en el sentido longitudinal.

En el primer grupo se introducirán las vigas de atado que estarán situadas en el forjado de oficinas y en el segundo grupo se introducirán las vigas de atado que soportan la cubierta de las oficinas.

En la Figura 56 se puede observar el grupo formado por las vigas de atado del forjado de oficinas.

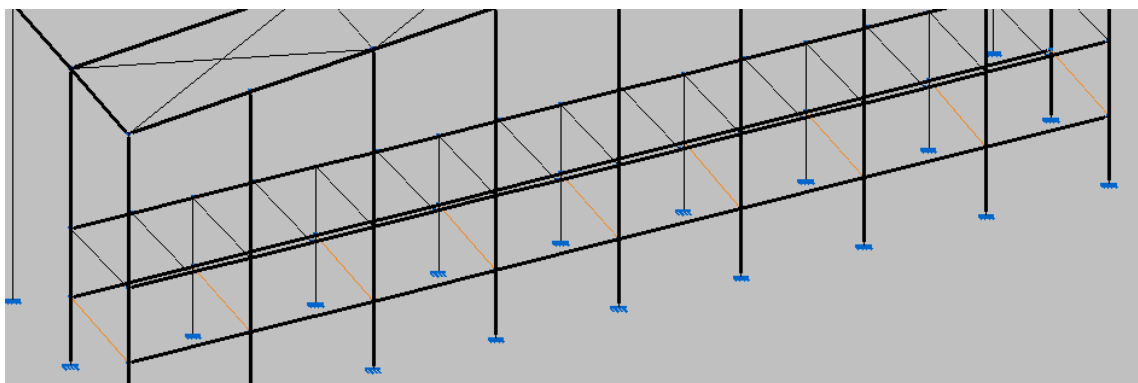


Figura 56. Vigas de atado del forjado de oficinas

Cruces de San Andrés

Finalmente, las cruces de San Andrés que sirven para arriostrar la estructura tendrán que tener el mismo tipo de perfil, por ello habrá que introducir cada tramo de cruces en un grupo distinto. Así se podrá optimizar cada tramo al máximo. Por tanto, cada grupo quedará definido por un tramo de cruces de San Andrés cada dos pórticos, como el mostrado en la Figura 57.

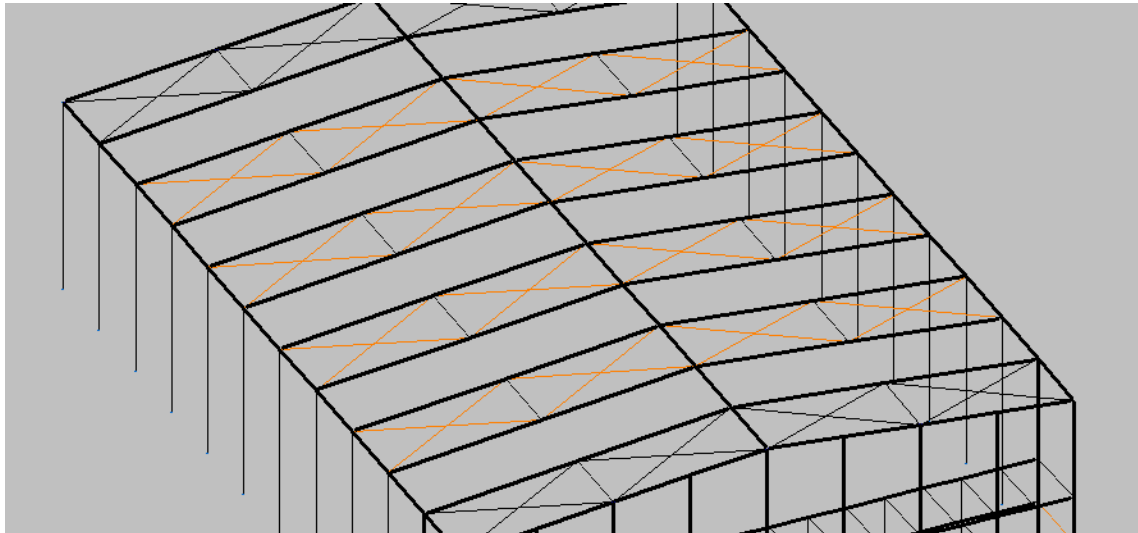


Figura 57. Agrupación de cruces de San Andrés



4.4 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE PERFIL EMPLEADO

Después de agrupar todas las barras habrá que introducir los tipos de perfiles que se van a usar en los distintos elementos estructurales. Primero se definirá la serie a emplear y se utilizará un perfil que cumpla de sobra los requerimientos de flecha, pandeo y esbeltez.

Después de calcular toda la estructura se pasará a optimizar los perfiles empleados en las barras, puesto que los perfiles que se usen en este apartado puede ser que no sean los que finalmente se usen en la estructura del hangar.

Pilares laterales

Se ha escogido para este tipo de pilar el perfil HEB puesto que es un perfil que aguanta muy bien los esfuerzos ejercidos a compresión, además se han introducido cartelas en la parte superior, de 2m de largo, con la finalidad de reducir el momento producido en el encuentro con el dintel.

Estos pilares se han introducido con una orientación perpendicular a la dirección del viento más desfavorable (cuando sopla perpendicular al muro) para así poder aguantar los cortantes con el alma del pilar. Inicialmente se ha determinado que los pilares laterales tengan unos perfiles HE 400 B.

Pilares muro piñón

Al igual que los pilares laterales, los pilares del muro piñón serán de la serie HEB, lo único que tendrán un tamaño menor debido a que los esfuerzos se reparten sobre más pilares. Estos pilares no estarán provistos de cartelas puesto que el propio cerramiento de hormigón hace que los esfuerzos en los encuentros entre el pilar y el dintel sean bajos, en comparación con los pilares centrales.

En este caso, al igual que en los pilares laterales, también será perpendicular a la acción del viento, para poder absorber perfectamente los cortantes producidos.

Inicialmente se usará un perfil HE 300 B, aunque luego al optimizar a lo mejor hay que cambiarlo.

Pilares del forjado de oficinas

El forjado de oficinas no recibe los esfuerzos provocados ni por el viento ni por la nieve, por ello, se puede emplear un tipo de perfil que no sea el HE, el usado será un perfil UPN, que para poder aguantar mejor los esfuerzos de compresión se soldará, con cordón discontinuo, a otro perfil UPN en forma de cajón, teniendo así un pilar rectangular para sustentar el forjado de oficinas.

El perfil seleccionado para este tipo de tarea será el UPN 100 en los dos casos, para que no haya problemas de simetría.



Dinteles del muro piñón

Debido a que el dintel del muro piñón tiene varios pilares a lo largo de su longitud, no va a tener problemas de que la esbeltez del mismo sea un factor a tener en cuenta. Por ello, se va a poder seleccionar un perfil que sea de un tamaño inferior al que se empleará en el resto de dinteles.

El perfil seleccionado para este dintel será el HE 200 A, es de la serie HEA puesto que es más liviano que los de la serie HEB y tienen características muy similares.

Dinteles centrales

Sin embargo, para poder dimensionar estos dinteles habrá que tener en cuenta que el hangar es diáfano y que la viga tiene salvar una luz de 20 metros biapollada, por tanto, se tendrá que usar un perfil de grandes dimensiones.

El seleccionado será el HE 400 A, que a priori no se sabe si está sobredimensionado o no.

Dintel forjado de oficinas

El forjado de oficinas no recibe ninguna de las cargas que afectan al hangar, por ello, se pueden usar perfiles más pequeños. Además, la luz que tiene que salvar cada viga será de 5 metros.

Sobre este dintel es sobre donde se apoya la losa de hormigón que formará el forjado, así que el perfil que se va a emplear será un IPE 240, que soporta esfuerzos a flexión y es más liviano que los perfiles empleados anteriormente.

Dintel de oficinas

Para sustentar el peso del cerramiento de chapa empleado en las oficinas se necesitan estas vigas que conforman el dintel. Además, también sirven para unir los distintos tramos que conforman las oficinas.

Como solo va a recibir el peso propio del cerramiento, que es muy poco, no va a hacer falta usar un perfil muy grande, puesto que solo tendrá que ser resistente al pandeo.

El perfil seleccionado ha sido un IPE 200.

Vigas de atado forjado de oficinas

Estas vigas de atado se van a emplear básicamente para aportar estabilidad a las oficinas, puesto que las losas de hormigón sirven perfectamente como unión entre las partes del forjado de oficinas.

El perfil empleado para estas vigas es el IPE 200.



Vigas de atado oficinas

En este caso sí que son necesarias las vigas de atado, puesto que harán las veces de correas sobre las que se anclaran las chapas que conforman el cerramiento de las oficinas, por todo ello el perfil empleado será el IPE 200, al igual que en el forjado.

Vigas de atado centrales

Estas vigas van a tener que salvar una luz de 5 metros, luego no van a tener que ser de dimensiones muy elevadas, en comparación con las usadas para los dinteles centrales. Así que se podrá emplear un perfil IPE en vez del HEA usado para los dinteles.

El perfil seleccionado de la serie IPE será el IPE 300

Vigas de atado intermedias

Como se ha comentado anteriormente, para poder emplear las cruces de San Andrés con los tirantes hay que dividir los tramos de la cubierta sobre los que se colocarán las citadas cruces, para dividirlos se han empleado unas vigas de atado que además aportan estabilidad al conjunto de la estructura.

Como la finalidad de estas vigas es la de dividir en dos los dinteles, se van a emplear unas IPE 240.



4.5 DESCRIPCIÓN DE LOS NUDOS DE CADA BARRA

Una vez realizados los agrupamientos y asignado los perfiles a las barras, hay que incluir las vinculaciones exteriores e interiores que tendrán cada barra en los nudos formados por la unión con otra barra o con la cimentación.

VINCULACIÓN INTERIOR

Todas las barras que van a aparecer en esta estructura están tratadas interiormente como si fueran empotramientos, puesto que son uniones que se han realizado a partir de una soldadura, impidiendo así los posibles grados de libertad que tendrían si fueran articulaciones.

VINCULACIÓN EXTERIOR

En cuanto a la vinculación exterior, habrá que definir dos tipos de vinculaciones exteriores. Una para las uniones de la estructura con la cimentación y otra para las uniones entre el resto de las barras.

En las uniones de los pilares con la cimentación se debe usar una vinculación exterior de empotramiento, puesto que se la cimentación hace que se coaccionen todos los posibles grados de libertad que tiene la estructura en ese punto.

Por otro lado, las uniones del resto de las barras se dejarán libres, ya que no hay nada que impida el movimiento en cualquiera de sus grados de libertad.

4.6 ASIGNACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE PANDEO PARA CADA BARRA.

Una vez realizadas las agrupaciones de las barras y la asignación de perfiles a las mismas hay que introducir los coeficientes de pandeo ya que es una de las partes más importantes de cualquier estructura.

Para empezar habrá que saber que el pandeo es un fenómeno que condiciona las piezas que trabajan a compresión.

El coeficiente de pandeo es un valor, mayor o igual a cero, que pondera la longitud de la barra, calculando lo que se denomina longitud de pandeo, a partir de la Ecuación 11. Esta longitud de pandeo es la distancia que habrá entre dos puntos de inflexión consecutivos en la deformada de la barra para ese plano de pandeo, es decir, debido a la deformación provocada por las cargas actuantes sobre la barra, ésta pierde la capacidad portante al perder la forma de máxima resistencia.

$$L_k = \beta \cdot L$$

Ecuación 11

La existencia de elementos que impidan el pandeo de las barras en alguna dirección, la conexión de las barras de la estructura y las condiciones de contorno son algunos de los factores que más influyen a la hora de calcular el pandeo que tendrá cada barra de la estructura. Por ello, se les denomina coeficientes de pandeo (β).

El cálculo de los coeficientes de pandeo no es tan exacto como puede ser el cálculo de reacciones puesto que cada autor emplea sus propios métodos, debido a que hay una gran variedad de fórmulas que permiten calcular los coeficientes.

Por ello, para poder calcular las longitudes de pandeo se empleará lo establecido en el apartado de compresión del CTE-DB-SE-A, en él se recoge una tabla con los valores característicos de los coeficientes de pandeo. Dichos coeficientes quedan reflejados en la Tabla 15 de este proyecto.

Condiciones de extremo	Biarticulada	Biempotrada	Empotrada articulada	Biempotrada desplazable	En ménsula
Longitud L_k	1,0·L	0,5·L	0,7·L	1,0·L	2,0·L

Tabla 15. Coeficientes de pandeo para barras canónicas

Como se comentó anteriormente, en el apartado de los softwares empleados, el conocimiento sobre si la estructura trabaja de manera traslacional o intraslacional es de gran importancia para el cálculo de los coeficientes de pandeo. Esta estructura es traslacional en el plano de los pórticos e intraslacional en el plano de los cerramientos, puesto que los paneles alveolares de hormigón hacen que el desplazamiento de los nudos sea nulo, aportando mayor rigidez a la estructura.



A la hora de introducir los coeficientes de pandeo en CYPE habrá que tener en cuenta la nomenclatura que emplea, puesto que designa dos planos, el “xy” y el “xz”.

El plano “xy” es el denominado plano débil del perfil, y se corresponde con el plano paralelo a las alas del perfil.

Por otro lado, el plano “xz” es el plano fuerte, ya que es el plano paralelo al alma de la pieza, que es el encargado de soportar la mayor parte de los esfuerzos.

Tras explicar qué son los coeficientes de pandeo y cómo calcularlos habrá que asignar los mismos a los distintos grupos realizados anteriormente.

4.6.1 COEFICIENTES DE PANDEO EN PILARES

A la hora de introducir los coeficientes de pandeo de los pilares habrá que realizar una distinción entre los dos tipos de pilares que se encuentran en este proyecto, estos son los pilares laterales de la estructura y los pilares que soportan el forjado de oficinas.

PILARES LATERALES

- En el plano xy:

$$L_k = \beta \cdot L = 0 \cdot L$$

Ecuación 12

La justificación del valor 0 para el coeficiente de pandeo, empleado en la Ecuación 12, es debido a que los pilares laterales están embebidos dentro de los paneles de hormigón que conforman el cerramiento del hangar, por ello, se puede tomar la decisión de que en el plano xz la estructura no va a sufrir deformación originada por las fuerzas de compresión a la que está afectada.

- En el plano xz:

$$L_k = \beta \cdot L = 0,7 \cdot L$$

Ecuación 13

La justificación del valor 0,7 del coeficiente de pandeo, empleado en la Ecuación 13, es debido a que los pilares laterales del hangar, en la dirección del plano xz, se pueden considerar que están empotrados en su base a la cimentación y que están unidos al dintel, en su parte superior, por medio de uniones reticuladas.



PILARES DEL FORJADO DE OFICINAS

- En el plano xy:

$$L_k = \beta \cdot L = 0,5 \cdot L$$

Ecuación 14

La justificación del coeficiente de pandeo usado en la Ecuación 14 es la siguiente, como el pilar se encuentra empotrado en la parte inferior de la estructura y en la parte superior se encuentra restringido su movimiento por medio de las vigas de atado, se puede considerar que la citada viga tendrá un comportamiento de una viga empotrada en sus extremos.

- En el plano xy:

$$L_k = \beta \cdot L = 0,7 \cdot L$$

Ecuación 15

El uso de un coeficiente de pandeo de 0,7, expuesto en la Ecuación 15, es debido a que el pilar que soporta el peso del forjado de oficinas está empotrado en su base, al igual que todos los pilares descritos anteriormente, mientras que en la parte superior del pilar se obtiene un apoyo reticulado con el dintel del forjado de oficinas.

DINTELES

Debido a que todos los dinteles tienen la misma disposición de las uniones, se va a proceder a nombrar el coeficiente de pandeo aplicado a todos ellos.

- En el plano xz:

$$L_k = \beta \cdot L = 0,5 \cdot L$$

Ecuación 16

El coeficiente de pandeo asignado al plano xz en la Ecuación 16 se obtiene a partir de que cada extremo de los dinteles está unido a otra viga por unión reticulada, junto con el empleo de vigas de atado, lo que le confiere a cada extremo una vinculación interior próxima al empotramiento.

- En el plano xy:

$$L_k = \beta \cdot L = 1 \cdot L$$

Ecuación 17

El coeficiente de pandeo de valor 1, mostrado en la Ecuación 17, se obtiene a la vista de la unión que tiene cada extremo de los dinteles, la que se puede considerar un apoyo simple con la barra adyacente.



4.7 INTRODUCCIÓN DE FLECHAS

Como se comentó anteriormente, una estructura debe cumplir una serie de verificaciones establecidas en el CTE-DB-Seguridad Estructural que ratifiquen que la estructura cumple con los denominados Estados Límites de Servicio (E.L.S), con los que se verifica la condición de que son aptos para el servicio, entre las citadas verificaciones están las flechas máximas que alcanzarán las vigas empleadas para su fabricación.

Por ello, en este caso se va a imponer una flecha relativa en el plano xz de $L/300$ para las vigas de atado y las correas, según lo establecido en el CTE; un valor de $L/250$ para los elementos verticales de la estructura, es decir, para los pilares; y de $L/400$ para todos los dinteles del hangar, siendo L el valor de cada una de las barras incluidas en estas decisiones.

4.8 UNIONES

Uno de los apartados más importantes a la hora de diseñar una estructura es el del diseño de las uniones que tendrán que realizarse entre los distintos tipos de elementos estructurales, con la finalidad de que, una vez comience la puesta en funcionamiento del hangar, se pueda asegurar la integridad estructural de la misma.

Todas las uniones entre las barras de este proyecto se han establecido como uniones soldadas y las uniones entre los cables y la estructura se han realizado a partir de tensores..

A continuación se exponen cada una de las distintas uniones.

4.8.1 UNIÓN SOLDADA

La unión de los elementos estructurales empleados se realizará por medio de la soldadura, que es un proceso de fabricación donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material usualmente logrado a partir de la fusión.

Dicha fusión se puede realizar mediante el aporte de material (plástico o metal) que forma un charco de material fundido en la unión de las dos piezas, denominado cordón de soldadura, como el mostrado en la Figura 58.

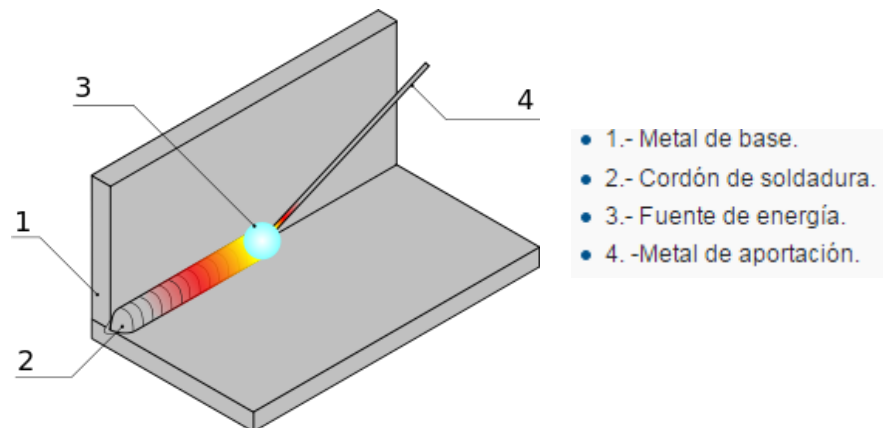


Figura 58. Soldadura por electrodo

El espesor del cordón de soldadura, o garganta, se puede calcular por medio de la Ecuación 18. A partir de ella se van a calcular todas las soldaduras necesarias para unir las vigas empleadas en este hangar.

$$a \leq 0.05 \cdot t$$

Ecuación 18

Siendo “t” el espesor de la pieza que servirá como base para la soldadura, que en algunos casos será el espesor del alma de la viga, cuando se suelden dos vigas, y en otros será el espesor del alma de la viga, cuando se suelden los rigidizadores.

En la Tabla 16 se pueden observar los distintos perfiles que servirán de base para la soldadura de las vigas, dependiendo de la disposición irán soldados al alma o a una de las alas.

En el caso de los pilares laterales, las vigas de atado irán soldadas al alma del perfil HEB 550 y el dintel y la cartela a la ala interior; en el caso del otro extremo de los dinteles, serán el alma y las alas de las propias vigas que los conforman (HEA 500) las que sirvan de base para las uniones; y en el dintel del forjado de oficinas, será la UPN de 140 la que hará las veces de base sobre la que se apoyará la viga de atado.

Perfil	Tamaño de garganta mínimo (mm)
HEB 550 (Ala)	0.145
HEB 550 (Alma)	0.075
HEA 500 (Ala)	0.115
HEA 500 (Alma)	0.06
UPN 140	0.035

Tabla 16. Espesores de garganta mínimos

4.8.2 RIGIDIZADORES

En la unión entre los pilares y los dinteles se han de instalar rigidizadores, como los mostrados en la Figura 59, en el alma del pilar para que la sección en el nudo sea mayor y así se soporten mejor los momentos generados por las cargas actuantes sobre el pórtico, sin tener que aumentar la sección de las vigas.

Las dimensiones de los rigidizadores serán las de las alas del perfil que se emplea en la viga del dintel y llevarán la misma inclinación que las vigas de los dinteles. De esta forma se obtiene una continuidad en la viga del dintel sobre el pilar.

En los dinteles de la cubierta, la inclinación será la misma que la pendiente de la cubierta, es decir 5.71° sobre la horizontal.

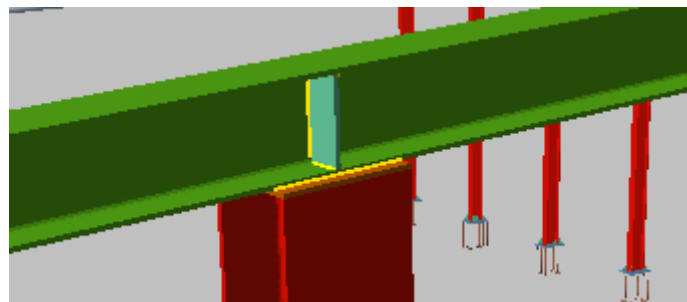


Figura 59. Rigidizadores de los dinteles

4.8.3 CARTELAS

Además del uso de rigidizadores, en estructuras que tienen que salvar grandes luces como es el caso de este hangar, conviene el uso de cartelas en los extremos de los dinteles para que se optimice la dimensión de los perfiles empleados, debido a que se aumenta el área que tiene la unión con los pilares y así se absorbe mejor el momento provocado en ese nudo.

El empleo de cartelas puede suponer una optimización del perfil empleado entre un HEB 700, sin cartelas, hasta un HEB 450, con cartelas, bajo las mismas solicitaciones de cargas.

El uso de las cartelas en este proyecto se realizará en los dinteles que forman la estructura menos en el dintel del muro piñón, puesto que los paneles de hormigón absorben el momento flector provocado por las solicitaciones de cargas a las que está sometida la estructura del hangar. Como se puede observar en la Figura 60, la cartela de los dinteles se incluye en la unión de las vigas con las vigas de atado, para generar mayor área en ese nudo y así soportar mejor los momentos generados.

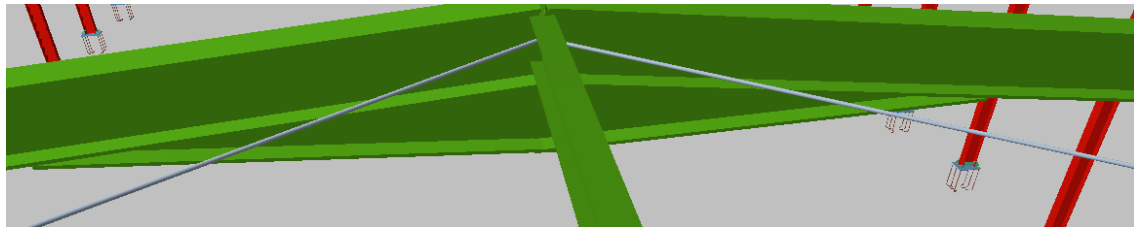


Figura 60. Cartela

4.8.4 ARRIOSTRAMIENTOS

Los arriostramientos empleados para impedir los posibles movimientos de la estructura se han realizado por medio de las cruces de San Andrés formadas por cables metálicos.

Esta coacción de los movimientos se produce porque el cable es un elemento que solo trabaja a tracción, con lo cual, cuando la estructura está sometida a alguna acción que provoque que se pueda desplazar en el plano de las cruces de San Andrés se produce una fuerza de tracción que sólo afecta a uno de los cables, dejando al otro cable soportando fuerzas de compresión, con lo cual es como si no estuviera soportando ninguna acción.

Para montar los citados cables a la estructura se suele usar un mecanismo, mostrado en la Figura 61, que permite tensar los cables durante su vida útil.

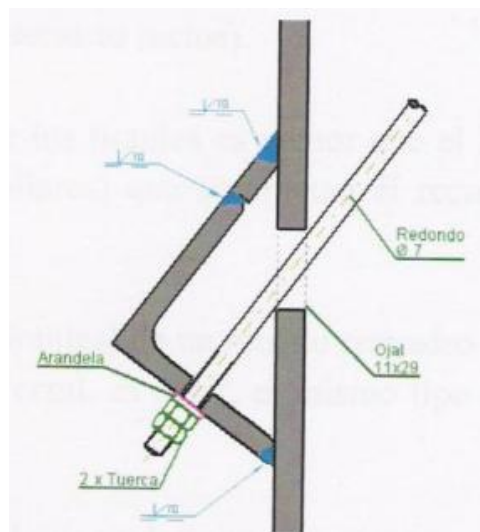


Figura 61. Mecanismo para tensar cables

Comúnmente se suelen emplear tirantes para arriostar tanto la cubierta como los laterales de la estructura. En el caso de este proyecto, sólo se van a emplear tirantes para arriostar la cubierta, debido a que las placas de hormigón que forman el cerramiento lateral ya arriostan la estructura en esa dirección.

La disposición que tendrán los tirantes una vez estén montados en la estructura será la mostrada en la Figura 62.

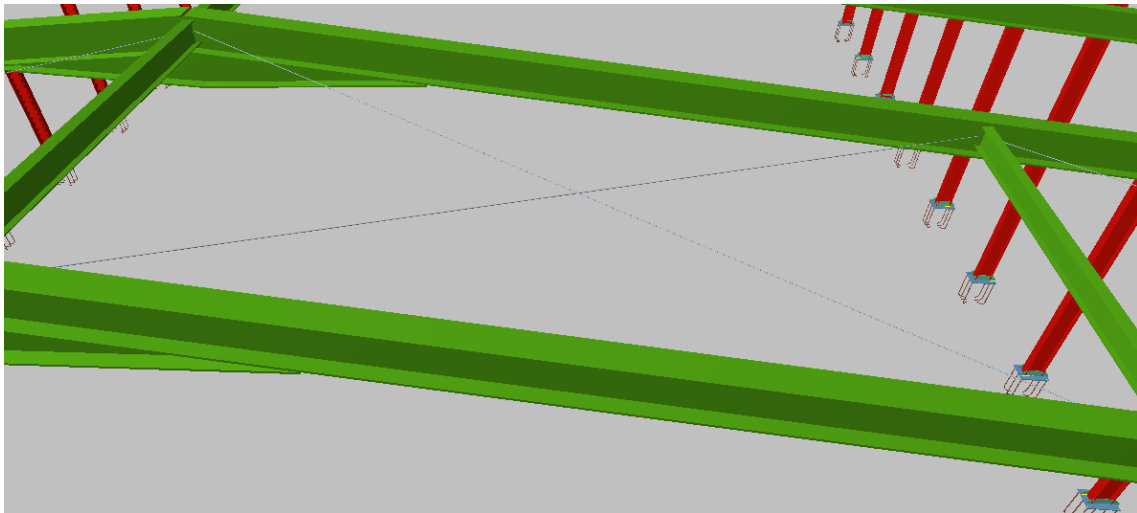


Figura 62. Tirantes formando cruces de San Andrés

A la hora de realizar el montaje de los tirantes habrá que tener en cuenta que el perfil de los tirantes tiene que ser el mismo en las dos aspas de la cruz, pese a que a la hora de realizar las comprobaciones pertinentes en CYPE, el tamaño de los perfiles sea distinto.

El tipo de perfil introducido será redondo de acero, pues facilitará el montaje de los mismos y es el más común, y por tanto, más fácil de obtener.

Se puede observar que el perfil empleado en los cables es el menor, puesto que para arriostrar la cubierta no sólo se tiene en cuenta el efecto de las cruces de San Andrés, sino que también intervienen las correas y el propio cerramiento de la cubierta.

4.8.5 PLACAS DE ANCLAJE

La unión entre la cimentación y los pilares se hace por medio de placas de anclaje.

Este elemento es una placa de acero que se coloca entre la zapata de hormigón y el pilar de la estructura, y que tiene la función de absorber las tensiones sobre las zapatas.

Para poder asegurar un correcto empotramiento, se van a incluir rigidizadores soldados a la base del pilar y a la placa de anclaje, para coaccionar cualquier grado de libertad que pueda tener el pilar.

La unión de la placa de anclaje a la zapata se realizará por medio de pernos de acero con una patilla a 90°, para evitar que se puedan desprender las placas de anclaje de las zapatas.

Después de aplicar todos estos conceptos se llegan a las placas de anclaje mostradas en la Figura 63.

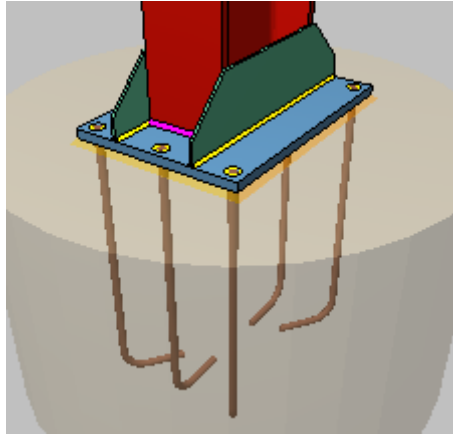


Figura 63. Placa de anclaje pilar HEB 550

Pese a que todas las placas de anclaje tendrán las mismas características, las dimensiones de las mismas variará serán diferentes unas de otras dependiendo del pilar que esté soldado a ellas.

4.9 CIMENTACIÓN

Previo a la cimentación deberá comprobarse el estado del suelo por si hace falta que se realice una obra para mejorar sus propiedades. Como el hangar se emplaza dentro de las instalaciones de la compañía Airbus Group, en Getafe, no hará falta ningún tipo de obra destinada a la mejora de la compactación del suelo para evitar los posibles fallos por asientos, una vez el hangar esté en funcionamiento.

Como se comentó anteriormente la cimentación de esta estructura se realizará por medio de zapatas aisladas de hormigón armado, unidas entre sí por vigas de atado, como puede mostrarse en la Figura 64.

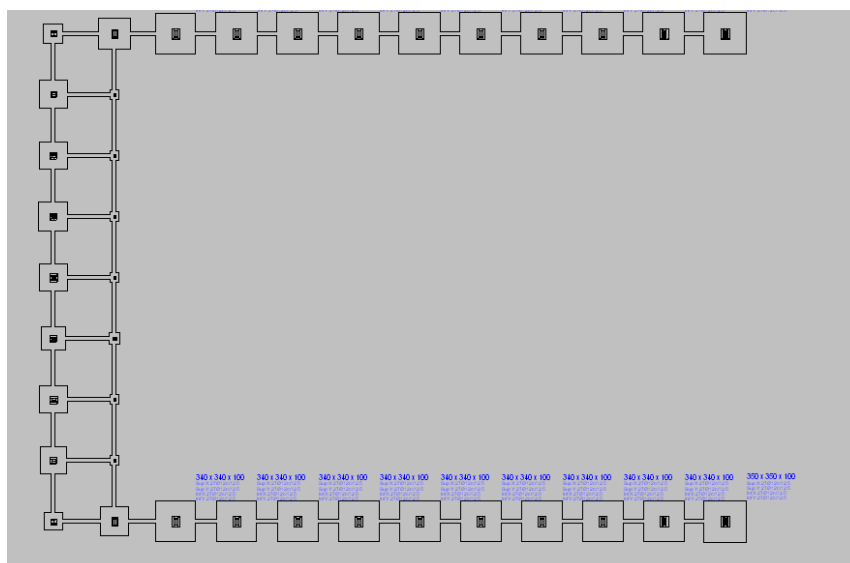


Figura 64. Cimentación del hangar

Las zapatas empleadas tendrán unas dimensiones tales que el pilar quede centrado, evitando así la formación de cargas excéntricas que pueden ocasionar un vuelco en la zapata, y por ende, un fallo en la estructura.

En la Tabla 17 se muestran las dimensiones de las zapatas dependiendo del tipo de viga que vayan a albergar.

Perfil del pilar empotrado	Dimensiones de la zapata (cm)
HEB-550	350x350x100
HEB-300	265x265x100
HEB-300	165x165x100
UPN-140 (Doble con sección en cajón)	85x85x100

Tabla 17. Dimensiones de las zapatas

Para poder soportar las cargas provocadas por el cerramiento de paneles de hormigón, y así evitar que las zapatas soporten grandes cargas y queden sobredimensionadas. Se va a emplear las vigas de atado formadas por viga de hormigón armado que conecta cada una de las zapatas con la adyacente.

Para poder realizar el hormigonado de todas las zapatas y las vigas de atado hay que tener en cuenta que se necesitará una capa de hormigón que sirve como base para poder colocar las armaduras del encepado, dicha capa de hormigón, de 10 cm será el denominado hormigón de limpieza.

A parte, de cara al presupuesto, se tomará que el volumen de tierra que se va a desalojar, para ubicar las zapatas y las vigas de atado, no será el mismo que el que posteriormente se introducirá al camión que lo depositará en el vertedero más cercano. Este hecho es debido al esponjamiento de la tierra, que aumenta su volumen al estar menos compacto que cuando se encontraba en el firme. En este proyecto se ha supuesto un valor de esponjamiento del 30% del volumen total desalojado.

4.10 Cálculo y optimización de la estructura

Después de realizar los pasos descritos anteriormente hay que proceder al cálculo de la estructura por medio de CYPE Ingenieros.

Este software emplea el método de la matriz de rigidez, la cual construye a partir de algunos datos, entre los cuales destacan las inercias de las barras descritas en el predimensionado.

Una vez realizados los cálculos, CYPE devuelve un código de colores para saber que barras se han diseñado con el perfil idóneo, para cumplir con las solicitudes introducidas en los requerimientos de la estructura, y cuáles no.

Tras el correcto dimensionado de las barras, los perfiles seleccionados serán los mostrados en la Tabla 18.

Descripción	Perfil
Pilar lateral	HEB 550 con cartelas
Pilar muro piñón	HEB 300
Pilar de las oficinas	UPN 140
Dintel central	HEA 500 con cartelas
Dintel del forjado de las oficinas	IPE 270
Dintel de la cubierta de las oficinas	IPE 220
Viga de atado de la cubierta	IPE 300
Viga de atado del forjado de oficinas	IPE 140
Viga de atado cubierta de oficinas	IPE 270
Viga de atado entre cruces	IPE 270
Tirante 1	R10
Tirante 2	R12
Tirante 3	R24

Tabla 18. Perfiles optimizados

Así mismo, en la Figura 65, se incluye a modo de resumen la cantidad de material empleado para la construcción de este hangar.

Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 300 B	125.000,00			1.864,00			14.630,44		
			HE 550 B, Sin	286.000,00			9.567,00			61.326,47		
		HEA	HE 220 A	40.200,00			0,26			2.029,09		
			HE 500 A, Sin	442.195,00			14.140,00			78.465,35		
		IPE			482.394,00			14.399,00			80.494,44	
			IPE 300	165.000,00			0,89			6.968,44		
			IPE 270	230.106,00			1.056,00			8.291,07		
			IPE 220	80.000,00			0,27			2.097,52		
			IPE 140	40.000,00			0,07			514,96		
		R			515.106,00			2.277,00			17.872,00	
			R 10	359.199,00			0,03			221,46		
			R 12	89.800,00			0,01			79,73		
			R 24	89.800,00			0,04			318,90		
		UPN			538.799,00			0,08			620,09	
			UPN 140, Do	42.000,00			0,17			1.345,18		
					42.000,00			0,17			1.345,18	
						1.989.299,00			28.356,00			176.288,60

Figura 65. Resumen de medición

4.11 Análisis de la estructura

Tras realizar los cálculos pertinentes de la estructura, y una vez optimizado todas las barras que se usarán a la hora de construir el hangar, CYPE Ingenieros tiene la capacidad de mostrar los distintos diagramas de esfuerzos, desplazamientos, envolventes para diferentes esfuerzos, etc.

Es recomendable consultar por lo menos los diagramas más significativos y comprobar que realmente la estructura está actuando como debería, puesto que si se hubiera cometido algún error durante el diseño saldría llegado a este punto.

Los diagramas que se van a consultar son los de envolventes, es decir, los que muestran el valor máximo y mínimo al que estará sometida cada una de las barras que aparecen en la estructura.

Los diagramas que se van a consultar son el diagrama de envolvente de tensión, el diagrama de envolvente de flecha el diagrama de cortantes y el diagrama de momentos flectores.

Como se muestra en la Figura 66, las tensiones máximas se centran en las uniones entre los dinteles centrales y los pilares laterales, como se puede esperar ya que al ser una cubierta con una superficie tan elevada, la carga de nieve será muy significativa. Así mismo el peso propio que influye en los extremos unidos del dintel y el pilar también provoca que en ese punto las tensiones sean mayores que en el resto de la estructura.

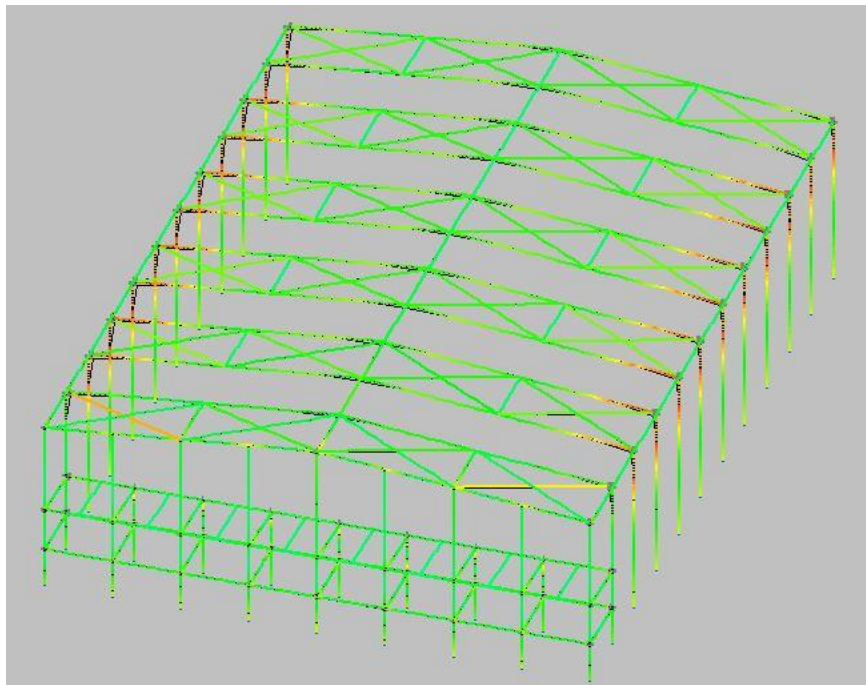


Figura 66. Diagrama de envolvente de tensión

En la Figura 67 se puede mostrar el diagrama de envolvente de la flecha, en el cual se puede observar como los valores máximos se adquieren en la viga de atado central de los pórticos, puesto que es la que está sometida a una mayor carga provocada por la carga de nieve y los pesos propios de los elementos que conforman la cubierta del hangar. Así mismo, al ser un elemento continuo de 5 metros, el valor de la flecha se ve incrementado.

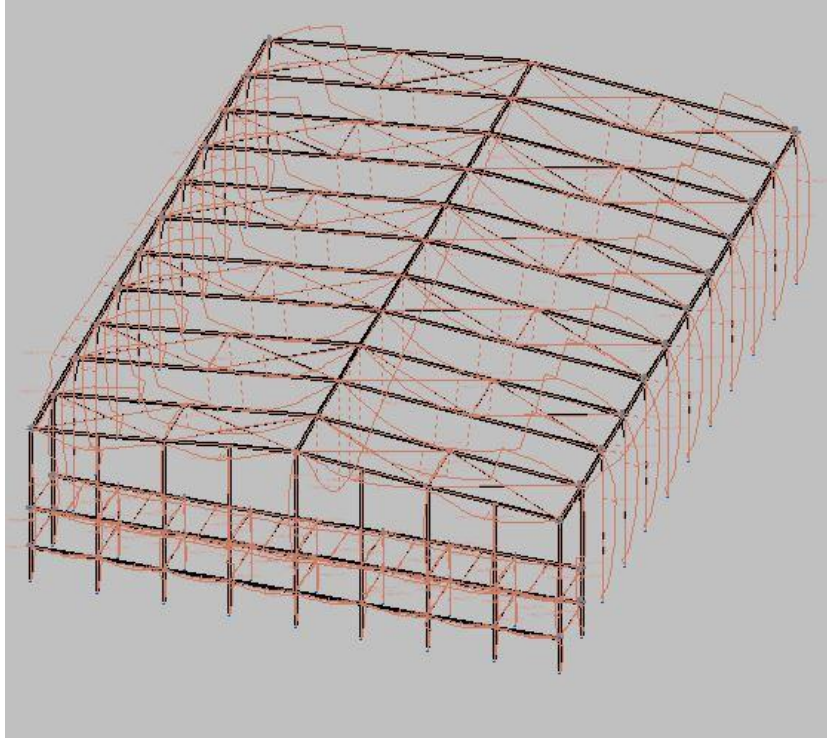


Figura 67. Diagrama de envolvente de la flecha

El hecho de que el diagrama de envoltentes de la flecha tenga esa forma es debido a que la escala del diagrama es 100 más grande para poder visualizar los efectos sobre la flecha. Pese a ello, el máximo valor alcanzado en el dintel central es de 47,452mm de longitud, con lo cual está dentro de lo establecido por el Código Técnico de la Edificación.

En la Figura 68 se muestra la envolvente de esfuerzos cortantes sobre toda la estructura.

En ella se muestra, como era de esperar, que los esfuerzos cortantes se enmarcasen en los pilares, debido a que al tener una altura de 13 metros las cargas de viento sean muy significativas. Así mismo los cortantes también muestran grandes valores en el extremo del dintel, puesto que será ahí donde se repartan los esfuerzos a los pilares.

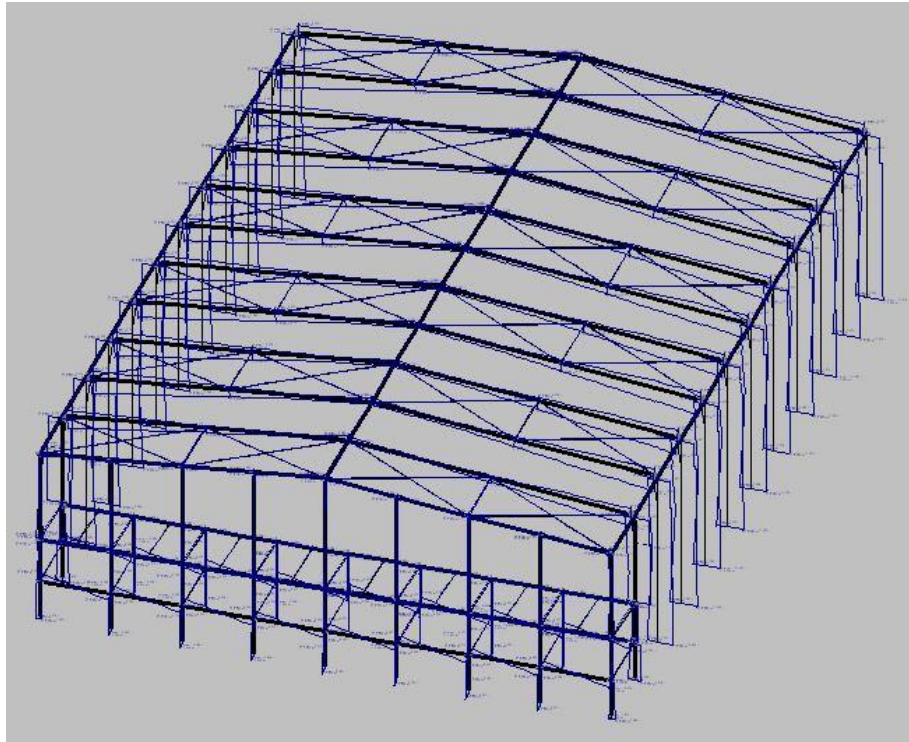


Figura 68. Diagrama de envolvente de cortantes

Finalmente en la Figura 69 se muestran los valores de los momentos flectores sobre la estructura. Los momentos flectores máximos se encuentran ubicados en la unión entre el pilar y el dintel, por ello, se ha decidido emplear cartelas que minimicen su acción; y en la base de los pilares, que están reforzados por medio de rigidizadores y pernos doblados en escuadra para que se repartan mejor los momentos a la cimentación de la estructura.

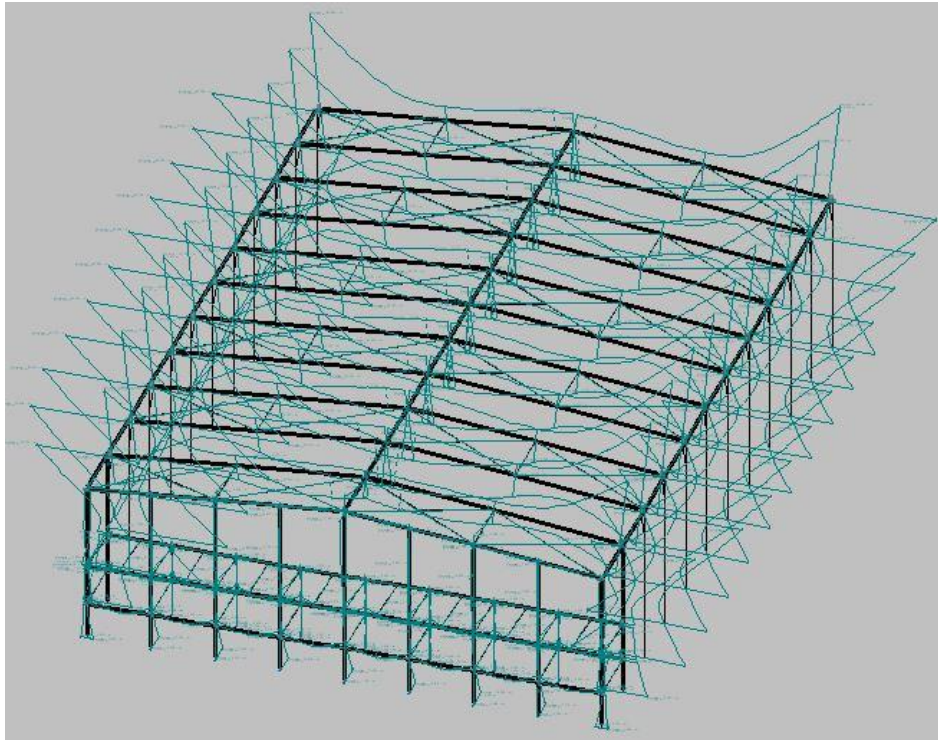


Figura 69. Diagrama de envolvente de los momentos flectores



TEMA 5: PRESUPUESTO

5.1 PRESUPUESTO

A la hora de realizar un proyecto de construcción se tienen dos partes muy diferenciadas. La primera de ellas es la memoria de los cálculos que se han realizado para poder dimensionar, a partir de las cargas actuantes, la estructura completa; y la otra parte es el presupuesto que va a ir unido a la realización del hangar, puesto que uno de los requerimientos más importante para cualquier tipo de obra es que sea realizable dentro de unos parámetros económicos.

Para calcular el coste que va a ser incurrido en esta obra se ha empleado Arquímedes, uno de los módulos incluidos en el software CYPE Ingenieros en el que se puede realizar un desglose total de todos los parámetros incluidos en la creación de este proyecto.

A continuación se muestra el presupuesto generado para este hangar.

Se ha propuesto un valor obtenido por el catálogo de precios para Guadalajara, puesto que es más completo que el catálogo de precios propuesto para Madrid, en el que el metro lineal de montaje de una estructura metálica tiene un precio de 1,88 €. El resto de costes se han incluido según el catálogo, referente a las estructuras de hormigón, cubiertas de paneles sándwich y forjados alveolares.

Debido a lo extenso del presupuesto, se ha optado por repartirlo en secciones, mostradas a continuación:

1. Movimiento de tierras.
2. Cimentación.
3. Estructura.
4. Cerramiento.
5. Cubierta.

5.1.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

1.1	Excavación en pozos en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero, y con parte proporcional de medios auxiliares.						
	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Precio (€/m ³)	Subtotal
ZAPATA 1	22	3,5	3,5	1,1	296,45	16,83	4.989,25
ZAPATA 2	9	2,45	2,45	1,1	59,425	16,83	1.000,12
ZAPATA 3	7	1	1	1,1	7,7	16,83	129,59
Total m ³					363,575		6.118,97

1.2

Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero y con parte proporcional de medios auxiliares.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Precio (€/m ³)	Subtotal
VIGAS DE ATADO	20	1,5	0,4	0,5	6,00	16,83	100,98 €
	2	2,03	0,4	0,5	0,81	16,83	13,67 €
	8	2,55	0,4	0,5	4,08	16,83	68,67 €
	7	3,28	0,4	0,5	4,59	16,83	77,28 €
	2	2,75	0,4	0,5	1,10	16,83	18,51 €
	6	4	0,4	0,5	4,80	16,83	80,78 €
Total m³:				21,384	21,38		359,89 €

1.3

Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante cargado a máquina, y con p.p. de medios auxiliares, considerando también la carga.

	Uds.	Volumen	Esponjamiento	Parcial	Precio (€/m ³)	Subtotal
POZOS	1	363,58	1,3	472,654	11,15	5270,1 €
ZANJAS	1	21,38	1,3	27,794	11,15	309,9 €
Total m³:				500,448		5.580,00 €

Total presupuesto parcial nº 1 MOVIMIENTO DE TIERRAS :

12.058,86 €

5.1.2 CIMENTACIÓN

2.1

Hormigón armado HA-25 N/mm², consistencia plástica, T_{máx}.20 mm., para ambiente normal, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso armadura (40 kg/m³), vertido por medios manuales, vibrado y colocación. Según normas NTE-CSZ, EHE y CTE-SE-C.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Precio (€/m ³)	Subtotal
ZAPATA 1	22	3,5	3,5	1	269,5	163,19	43.979,71 €
ZAPATA 2	9	2,45	2,45	1	54,023	163,19	8.816,01 €
ZAPATA 3	7	1	1	1	7	163,19	1.142,33 €
VIGAS DE ATADO	20	1,5	0,4	0,4	4,8	163,19	783,31 €
	2	2,03	0,4	0,4	0,65	163,19	106,07 €
	8	2,55	0,4	0,4	3,264	163,19	532,65 €
	7	3,28	0,4	0,4	3,674	163,19	599,56 €
	2	2,75	0,4	0,4	0,88	163,19	143,61 €
	6	4	0,4	0,4	3,84	163,19	626,65 €
Total m³:					347,631		56.729,90 €

2.2

Hormigón en masa HM-20 N/mm², consistencia plástica, T_{máx}.20 mm., para ambiente normal, elaborado en central para limpieza y nivelado de fondos de cimentación, incluso vertido por medios manuales y colocación. Según NTE-CSZ,EHE y CTE-SE-C.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Precio (€/m ³)	Subtotal
ZAPATA 1	22	3,5	3,5	0,1	26,95	104,57	2.818,16 €
ZAPATA 2	9	2,45	2,45	0,1	5,402	104,57	564,89 €
ZAPATA 3	7	1	1	0,1	0,7	104,57	73,20 €
VIGAS DE ATADO	20	1,5	0,4	0,1	1,2	104,57	125,48 €
	2	2,03	0,4	0,1	0,162	104,57	16,94 €
	8	2,55	0,4	0,1	0,816	104,57	85,33 €
	7	3,28	0,4	0,1	0,918	104,57	96,00 €
	2	2,75	0,4	0,1	0,22	104,57	23,01 €
	6	4	0,4	0,1	0,96	104,57	100,39 €
Total m³:					37,328		3.903,39 €

Total presupuesto parcial nº 2 CIMENTACION :

60.633,29 €

5.1.3 ESTRUCTURA

3.1

Acero laminado A-42b, en perfiles laminados en caliente para vigas, pilares, zunchos y correas, mediante uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, montado y colocado, según NTE-EAS/EAV y CTE-DB-SE-A.

	Uds.	Largo	Peso	Parcial	Precio montaje (€/kg)	Subtotal
HEB-300	1	125	117	14.625,00	1,88	27.495,00 €
HEB-550	1	286	199	56.914,00	1,88	106.998,32 €
HEA-220	1	40,2	50,5	2.030,10	1,88	3.816,59 €
HEA-500	1	442,2	155	68.541,00	1,88	128.857,08 €
IPE-300	1	165	42,2	6.963,00	1,88	13.090,44 €
IPE-270	1	230,11	36,1	8.306,97	1,88	15.617,11 €
IPE-220	1	80	26,2	2.096,00	1,88	3.940,48 €
IPE-140	1	40	12,9	516	1,88	970,08 €
TIRANTE R-10	1	359,2	0,62	222,704	1,88	418,68 €
TIRANTE R-12	1	89,9	0,89	80,011	1,88	150,42 €
TIRANTE R-24	1	89,9	3,55	319,145	1,88	599,99 €
UPN-140	1	42	16	672	1,88	1.263,36 €
CARTELAS HEB-550	22	2	99,5	4.378,00	1,88	8.230,64 €
CARTELAS HEA-500	44	2	77,5	6.820,00	1,88	12.821,60 €
Total kg.....:				172.483,93		324.269,79 €

3.2

Forjado de placa alveolar prefabricada de hormigón pretensado de canto 15 cm. en piezas de 1,20 m. de ancho, con relleno de juntas entre placas y capa de compresión de 5 cm. de hormigón HA-25/P/20/I, para un luz de 5 m. y una carga total de forjado de 1.000 kg/m2, incluso p.p. de negativos y conectores, encofrado, desencofrado, vertido, vibrado, curado de hormigón y armadura de reparto de 20x30x5 mm. con ayuda de grua telescópica para montaje, terminado según EFHE y EHE. Medición según línea exterior sin descontar huecos menores de 5 m2. No incluye p.p de vigas ni de pilares.

	Uds.	Largo	Ancho	Parcial	Precio (€/m ²)	Subtotal
	1,00	40,00	5,00	200,00	53,18	10.636,00 €
Total m².....:				200,00		10.636,00 €

3.3 **Correa realizada con chapa conformada en frío tipo Z 200-25 mm., i/p.p. de despuntes y piezas especiales, colocada y montada. Según NTE-EA y CTE-DB-SE-A.**

Uds.	Largo	Parcial	Precio (€/m)	Subtotal
22,00	55,00	1.210,00	10,58	12.801,80 €
Total m:		1.210,00		12.801,80 €

Total presupuesto parcial nº 3 ESTRUCTURA : 347.707,59 €

5.1.4 CERRAMIENTO

4.1 **Cerramiento de placa alveolar prefabricada de hormigón pretensado de canto 16 cm. en piezas de 1,20 m. de ancho, con relleno de juntas entre placas., para un luz de 5 m., con ayuda de grua telescópica para montaje, terminado según EFHE y EHE. Medición según línea exterior sin descontar huecos menores de 5 m2.**

Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Precio (€/m ²)	Subtotal
2,00	55,00		13,00	1.430,00	46,32	66.237,60 €
1,00	40,00		14,00	560,00	46,32	25.939,20 €
Total m²...:				1.990,00		92.176,80 €

Total presupuesto parcial nº 4 CERRAMIENTO: 92.176,80 €

5.1.5 CUBIERTA

- 5.1** Cubierta formada por panel Miret de chapa de acero en perfil comercial, prelacada la cara exterior y galvanizada la cara interior de 0,5 mm. con núcleo de EPS, poliestireno expandido de 20 kg./m³. con un espesor de 50 mm., clasificado M-1 en su reacción al fuego, colocado sobre correas metálicas, i/p.p. de solapes, tapajuntas, accesorios de fijación, juntas de estanqueidad, medios auxiliares y elementos de seguridad, s/NTE-QTG-8. Medida en verdadera magnitud.

Uds.	Largo	Ancho	Parcial	Precio (€/m ²)	Subtotal
1,00	55,00	40,20	2.211,00	30,20	66.772,20 €
Total m²:			2.211,00		66.772,20 €

Total presupuesto parcial nº 5 CUBIERTA : 66.772,20 €

Finalmente, en la tabla 13 se va a mostrar el resumen de todos los costes que afectan al proyecto.

Presupuesto de ejecución material

1 MOVIMIENTO DE TIERRAS	12.058,86 €
2 CIMENTACION	60.633,29 €
3 ESTRUCTURA	347.707,59 €
4 CERRAMIENTO	92.176,80 €
5 CUBIERTA	66.772,20 €
Total:	579.348,74 €

Tabla 19. Presupuesto de ejecución material

Como se puede observar la mayor parte del presupuesto va destinado a la creación de la estructura metálica del hangar, de ahí que una buena optimización de los perfiles empleados sea la clave para obtener una obra más o menos costosa.



TEMA 6: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS



6.1 CONCLUSIÓN

Este proyecto se ha centrado en el desarrollo de un hangar para aviones de la familia A-320 (NEO). Para poder realizar esta estructura se ha seguido estrictamente el Código Técnico de la Edificación, en el que cual se recoge la manera de calcular las distintas cargas a las que estará sometida la estructura y la forma de actuar ante ellas de forma segura.

A continuación se expondrá un breve resumen del proyecto a modo de cierre:

- La ubicación del hangar será dentro de las dependencias de Airbus Group, en la localidad madrileña de Getafe. La función de este hangar será la de albergar y reparar las aeronaves de la familia A-320 de esta compañía.
- Estará compuesto de una estructura aporticada con una cubierta a dos aguas, dentro del mismo se habrá una planta destinada a las oficinas en las que se realizarán las labores de cálculo y gestión de las aeronaves almacenadas dentro del hangar.
- Para la determinación de las acciones que actuarán sobre la estructura se ha seguido el CTE. Entre estas acciones se pueden observar el peso propio de los elementos estructurales, las acciones del viento, la sobrecarga de nieve, la sobrecarga de uso, las acciones térmicas y las acciones sísmicas. También se han estudiado las acciones del terreno sobre la cimentación.
- La estructura metálica está formada por perfiles normalizados, de distinto tipo según su ubicación y las sollicitaciones a las que está sometido. En pilares se han empleado perfiles HEB para la estructura perimetral y UPN para las oficinas, perfiles HEA para los dinteles, IPE para los dinteles de las oficinas y las vigas de atado de toda la estructura, perfiles tipo Z para las correas de la cubierta y cables de perfil circular para los tirantes de arriostramiento.
- Se han empleado cartelas en las uniones de los pilares y los dinteles para poder transmitir y soportar mejor los esfuerzos provocados por los momentos en dichas uniones.
- La unión entre los pilares y las zapatas se han realizado por medio de placas de anclaje soldadas a las bases de los pilares, con rigidizadores para evitar los esfuerzos provocados por los momentos y pernos hundidos en la zapata para transmitir perfectamente los esfuerzos entre el pilar y la zapata.
- Como elementos de cerramiento y cubierta se han utilizado placas de hormigón alveolar prefabricada y paneles sándwich, también prefabricados. Las características se han obtenido de los catálogos de “Prainsa” y “Aidepla”, respectivamente.



- Los resultados obtenidos resultan coherentes ante una comparación con edificios reales. Por ello, puede asegurarse que el proyecto puede llevarse a cabo en la vida real sin ningún problema.
- Todos los cálculos realizados en este proyecto se han obtenido a partir de las ecuaciones propuestas por las diversas normativas y los manuales referentes al cálculo de estructuras.
- Para poder realizar de forma más rápida todo el dimensionamiento y cálculo de la estructura del hangar se ha necesitado la ayuda del software comercial CYPE Ingenieros en su módulo Metal 3D.
- Para poder realizar el presupuesto de forma coherente con la actualidad se ha usado la herramienta Arquímedes, incluida en el software CYPE Ingenieros, en la que se incluye un listado de precios actualizados del presente año. Por tanto, la cifra obtenida finalmente estará actualizada a los precios actuales.
- Finalmente, según los datos obtenidos por Arquímedes, el coste total de la obra asciende a 579.348,74 €, de los cuales el 60,02% (347.707,59 €) corresponden a la mano de obra empleada para la fabricación de la estructura metálica, de ahí, que las habilidades y experiencia del ingeniero estructuralista sean tan importantes. Una mala optimización de los perfiles puede provocar que la obra tenga un precio muy elevado, haciéndola inviable para su construcción.



6.2 TRABAJOS FUTUROS

Entre los trabajos que pueden realizarse a continuación de este proyecto pueden destacarse los siguientes:

- Analizar el comportamiento dinámico de la estructura ante sismos o ante el posible impacto de una aeronave durante su introducción en el hangar.
- La nueva normativa exige para determinadas instalaciones industriales el uso de las energías renovables para autoabastecerse en una pequeña proporción, por tanto, debería realizarse el estudio de la acción que produciría sobre la estructura la instalación de paneles fotovoltaicos en la cubierta.
- Realizar un estudio sobre las instalaciones requeridas para el funcionamiento del hangar (sistema eléctrico, evacuación en caso de emergencia, seguridad ante incendios o seguridad y salud en la obra).
- Realizar el cálculo energético del hangar para poder obtener el certificado energético exigido por la legislación vigente.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para la correcta realización de este proyecto se han tenido en cuenta una serie de documentos a los que se les hace referencia a continuación:

- *Código Técnico de la Edificación*. Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008)
- *Normativa sismorresistente. Parte general y de edificación*. Actualizada en 2009. Aprobada por el RD 997/2002 el 27 de septiembre de 2009.
- *Norma UNE-EN 1168: Placas alveolares*
- *Norma UNE-EN 10025: Productos laminados en caliente de acero no aleado*
- *Apuntes de la asignatura "Tipología Estructural"* José Luis Pérez Castellanos. Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.
- *Apuntes de la asignatura "Tecnología de materiales"*. Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.
- *Catálogo de placas alveolares*. Aidepla.
- *Catálogo paneles alveolares de hormigón*. Prainsa.
- Empresa de construcción "*Gardíaz S.L.*"

También se ha utilizado la información proveniente de las siguientes páginas web:

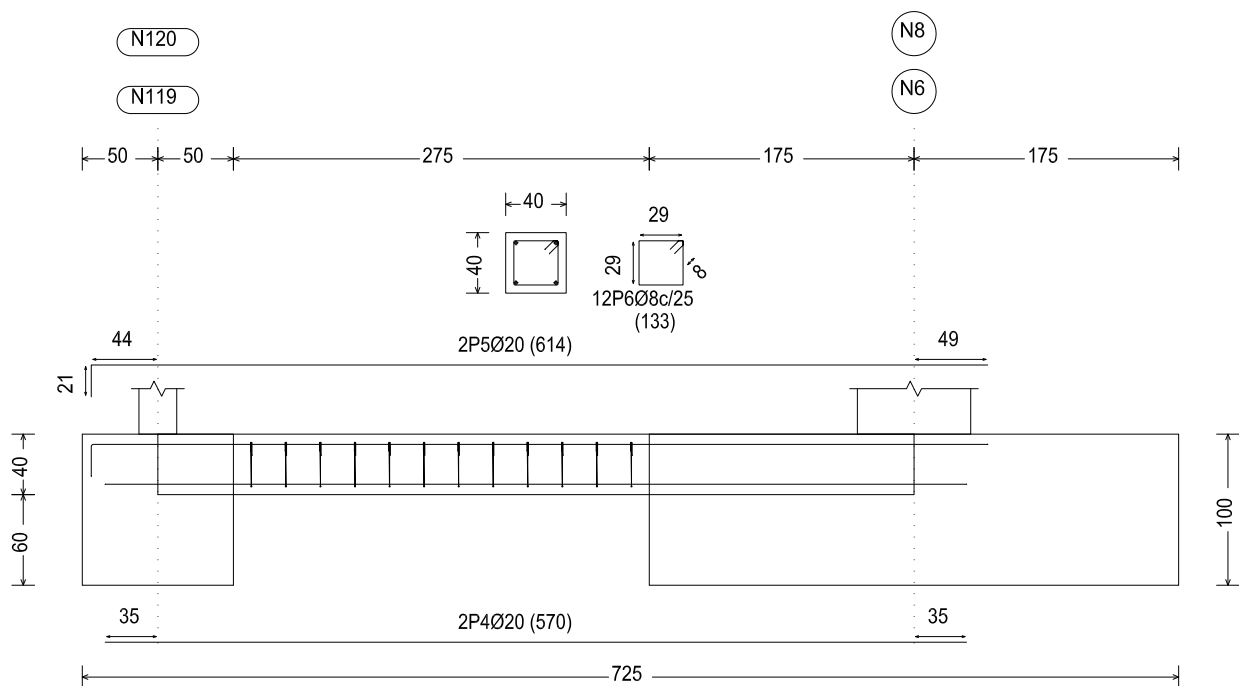
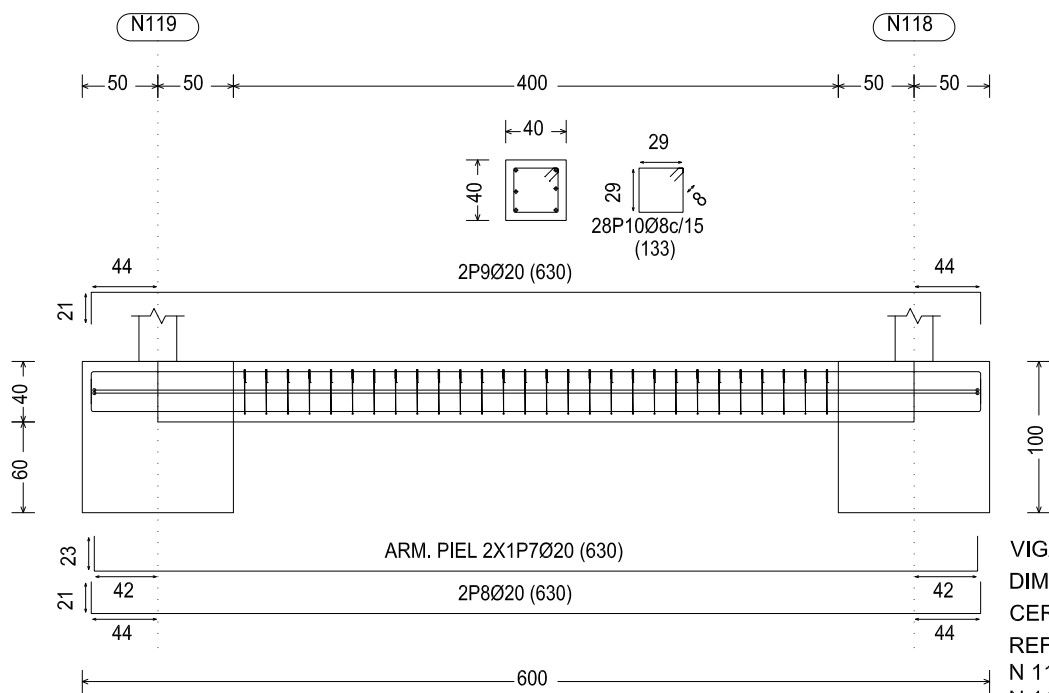
- www.reidsteel.com: Página web oficial sobre la empresa "Reid Steel". [Visitada el 10/02/2015].
- www.airbus.com: Página web oficial sobre la empresa "Airbus Group". [Visitada el 13/02/2015].
- Biblioteca.uc3m.es: Página web oficial de la Biblioteca de la Universidad Carlos III de Madrid. [Visitada el 15/02/2015].
- www.cype.es: Página web oficial del software CYPE Ingenieros. [Visitada el 18/03/2015].
- www.panelsandwich.org: Catálogo paneles sándwich para cerramientos. [Visitada el 08/04/2015].
- www.prontuarios.info/perfiles: Prontuario de todos los perfiles metálicos destinados a la construcción de estructuras metálicas. [Visitada el 08/04/2015].



PLANOS DEL HANGAR



- www.codigotecnico.org: Página web oficial del Código Técnico de la Edificación.
[Visitada el 10/04/2015].
- www.soloingenieria.net: Foro destinado a la transmisión de información y resolución de dudas surgidas durante los diferentes proyectos de ingeniería e ingeniería técnica.
[Visitas esporádicas durante la duración del proyecto].



DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
 CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
 AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

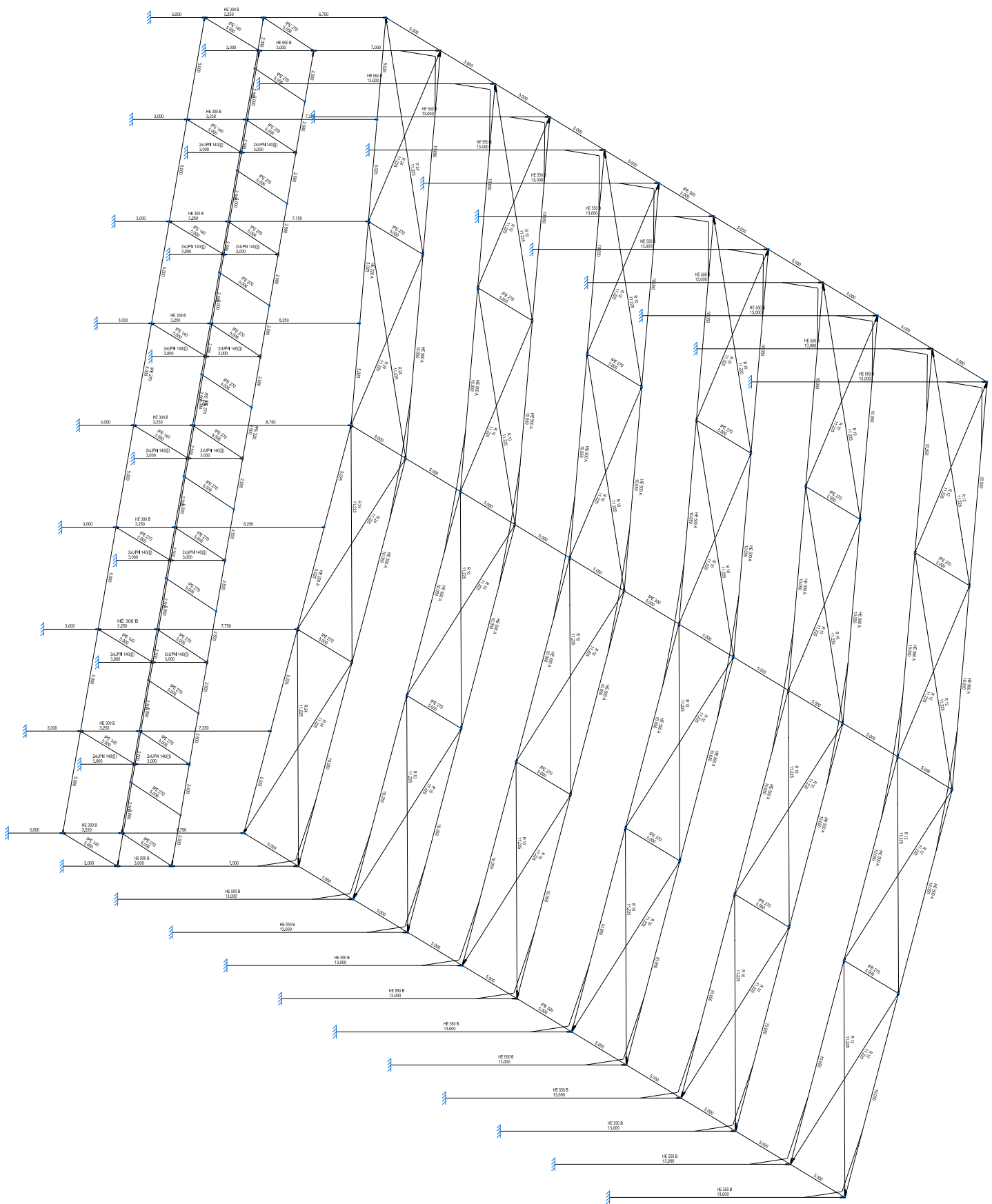
PLANO: CIMENTACIÓN. VIGA DE ATADO 5 Y 6

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

09

ESCALA:
 1 / 50



DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

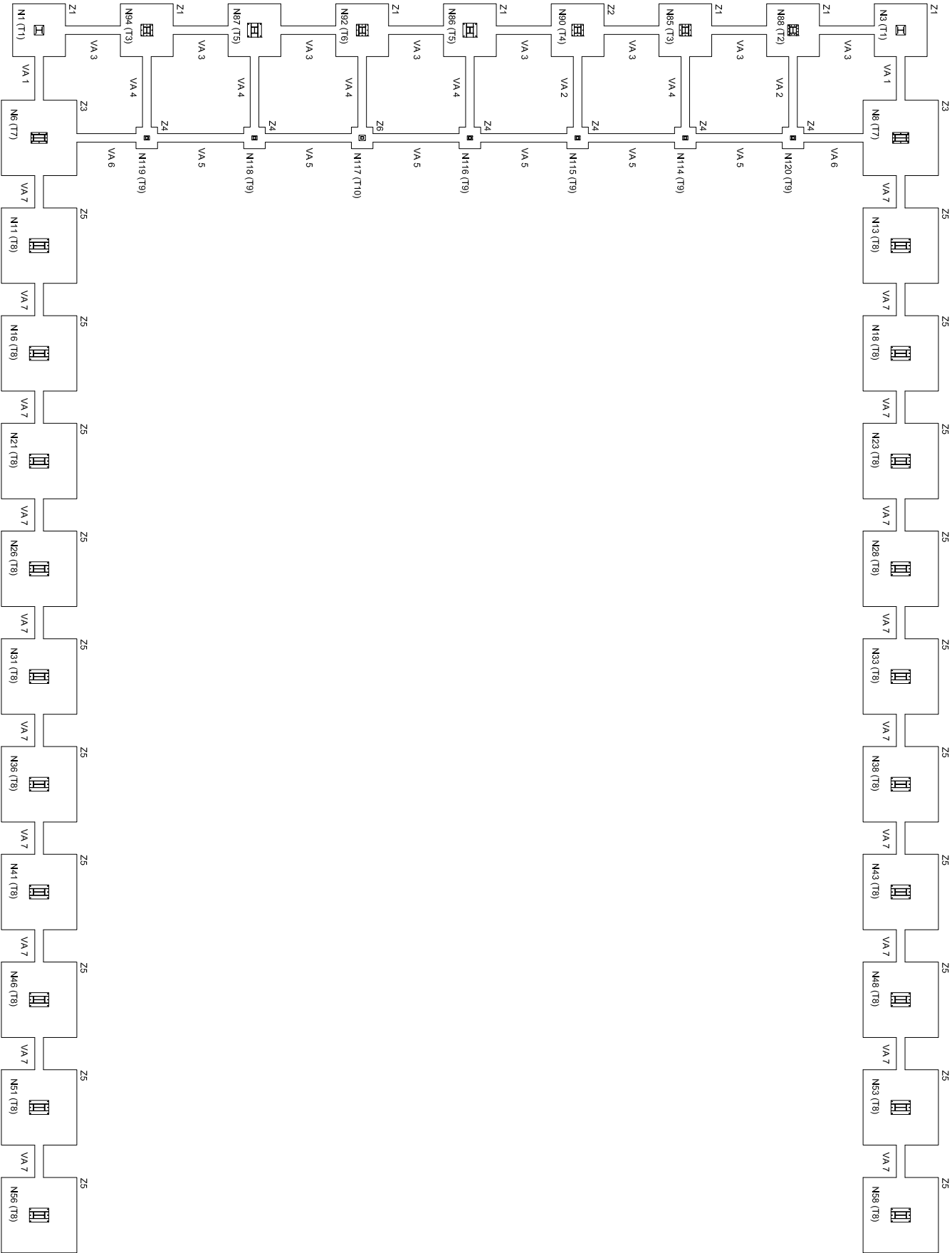
PLANO: ESTRUCTURA 3D

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

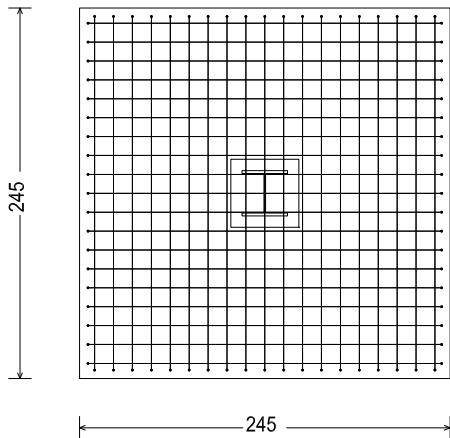
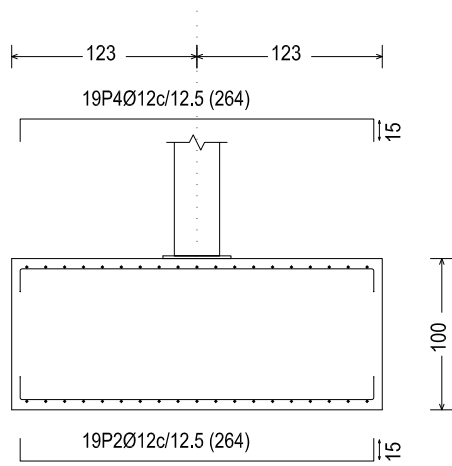
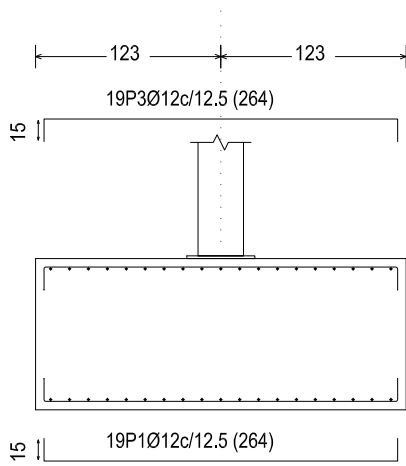
TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

01

ESCALA:
S / E



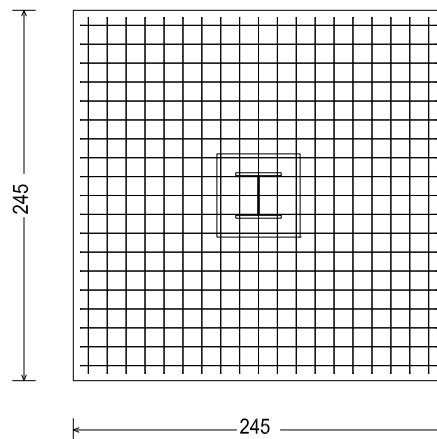
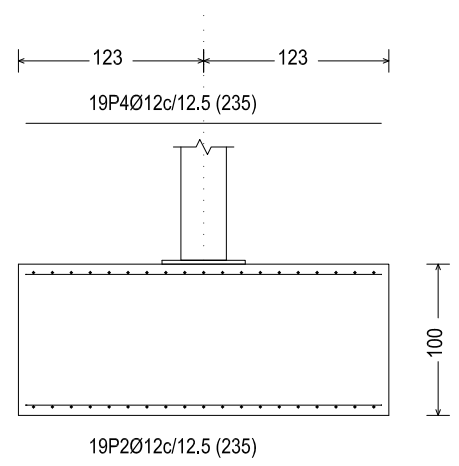
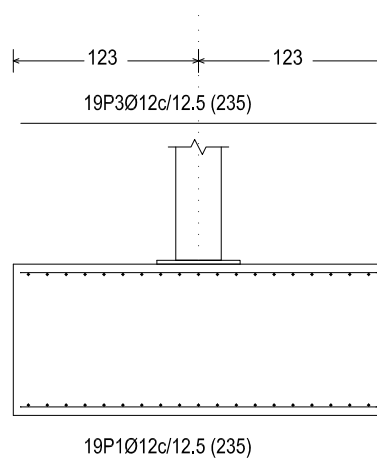
DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN	
PLANO: PLANTA DE CIMENTACIÓN	
AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ	03
TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN	ESCALA: 1 / 250



ZAPATA TIPO 1

DIMENSIONES ZAPATA = 245 x 245 x 100 cm

REF. PILARES : N 1 / N 3 / N 85 / N 86 / N 87 /
N 88 / N 92 / N 94



ZAPATA TIPO 2

DIMENSIONES ZAPATA = 245 x 245 x 100 cm

REF. PILARES : N 90

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

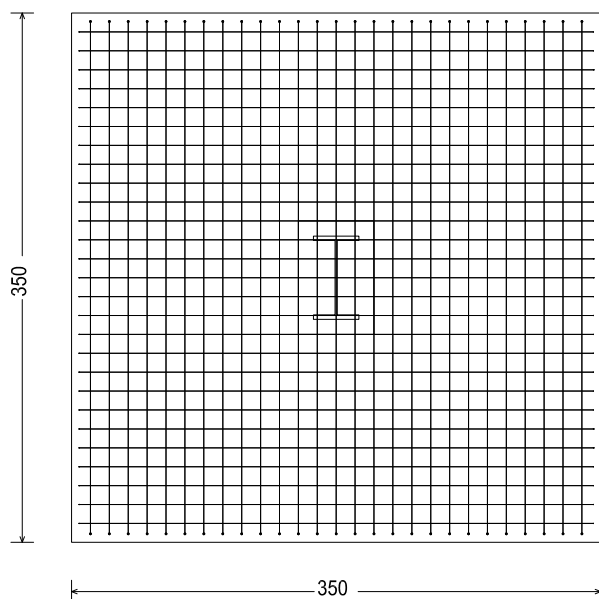
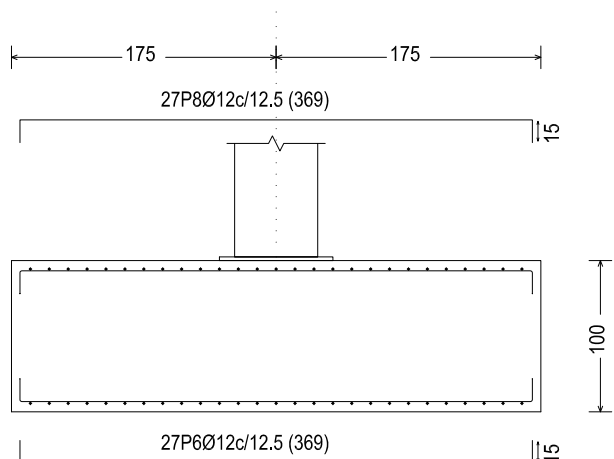
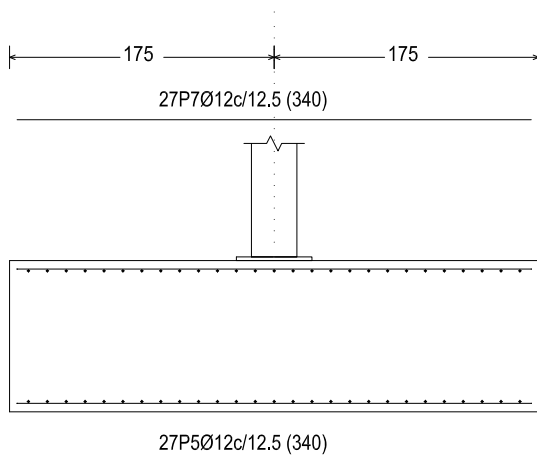
PLANO: CIMENTACIÓN. ZAPATAS 1 Y 2

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

04

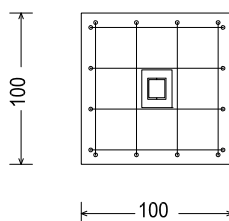
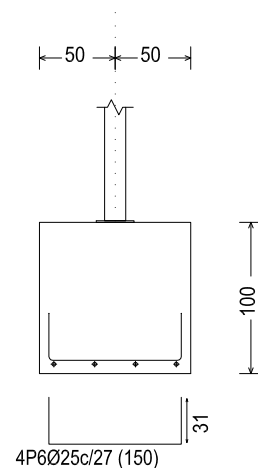
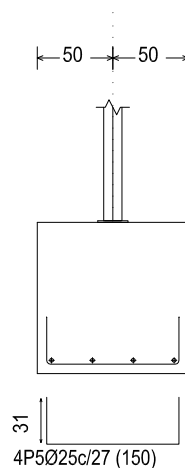
ESCALA:
1 / 50



ZAPATA TIPO 3

DIMENSIONES ZAPATA = 350 x 350 x 100 cm

REF. PILARES : N 6 / N 8



ZAPATA TIPO 4

DIMENSIONES ZAPATA = 100 x 100 x 100 cm

REF. PILARES : N 114 / N 115 / N 116 / N 118 / N 119 / N 120

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

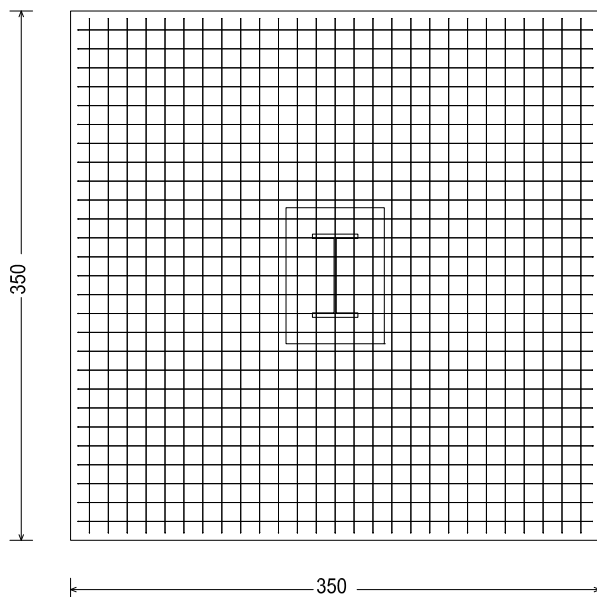
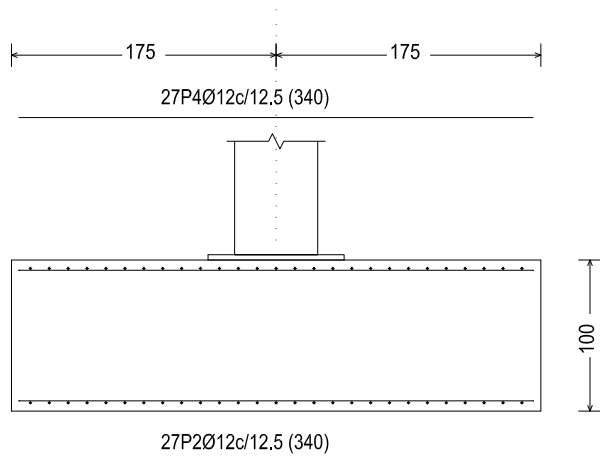
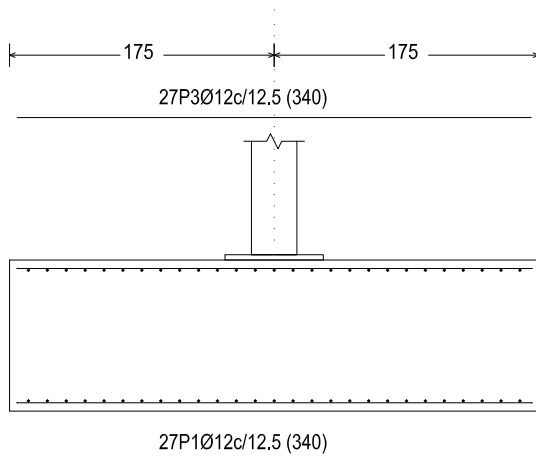
PLANO: CIMENTACIÓN. ZAPATAS 3 Y 4

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

05

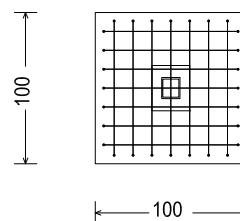
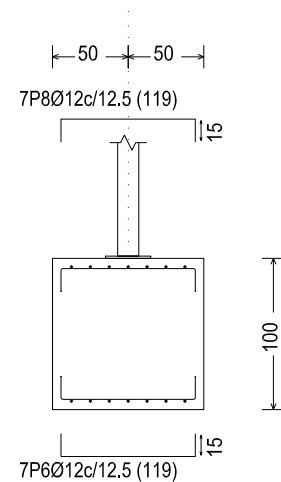
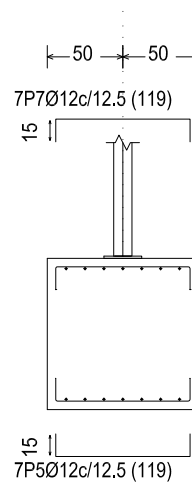
ESCALA:
1 / 50



ZAPATA TIPO 5

DIMENSIONES ZAPATA = 350 x 350 x 100 cm

REF. PILARES : N 11 / N 13 / N 16 / N 18 / N 21 / N 23 /
N 26 / N 28 / N 31 / N 33 / N 36 / N 38 / N 41 / N 43 / N 46
/ N 48 / N 51 / N 53 / N 56 / N 58



ZAPATA TIPO 6

DIMENSIONES ZAPATA = 100 x 100 x 100 cm

REF. PILARES : N 117

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

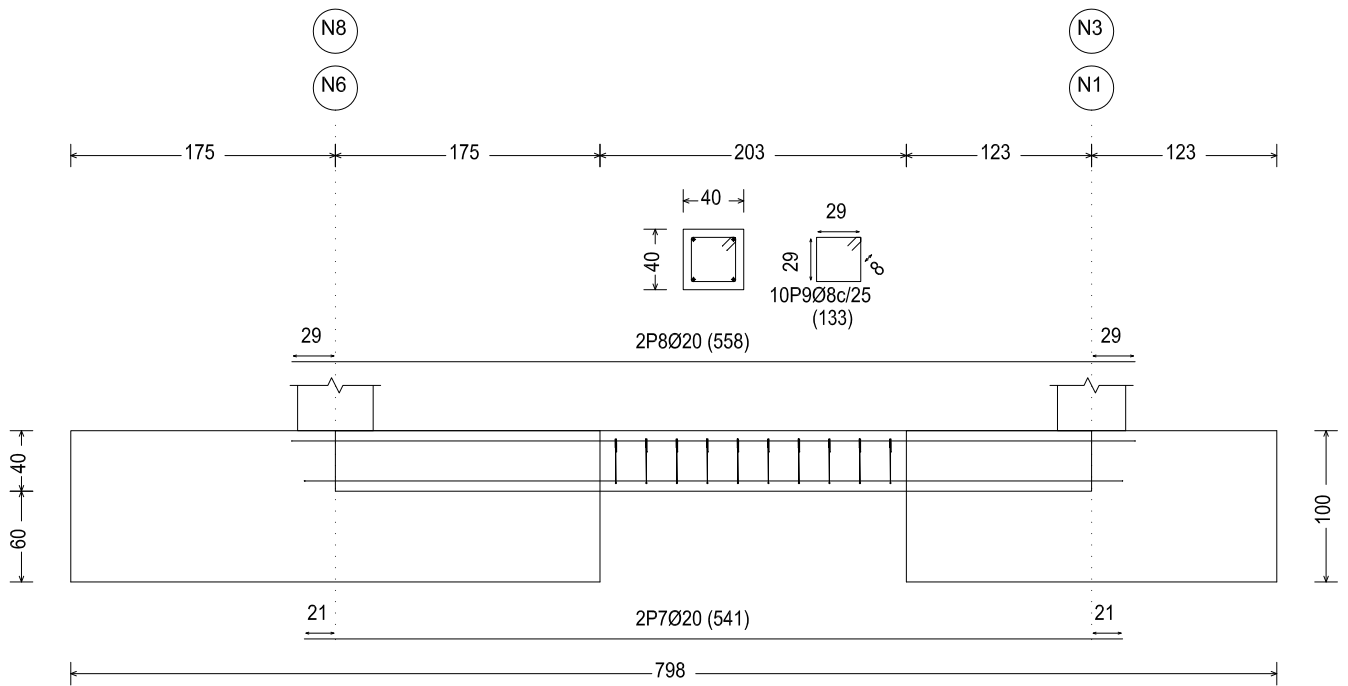
PLANO: CIMENTACIÓN. ZAPATAS 5 Y 6

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

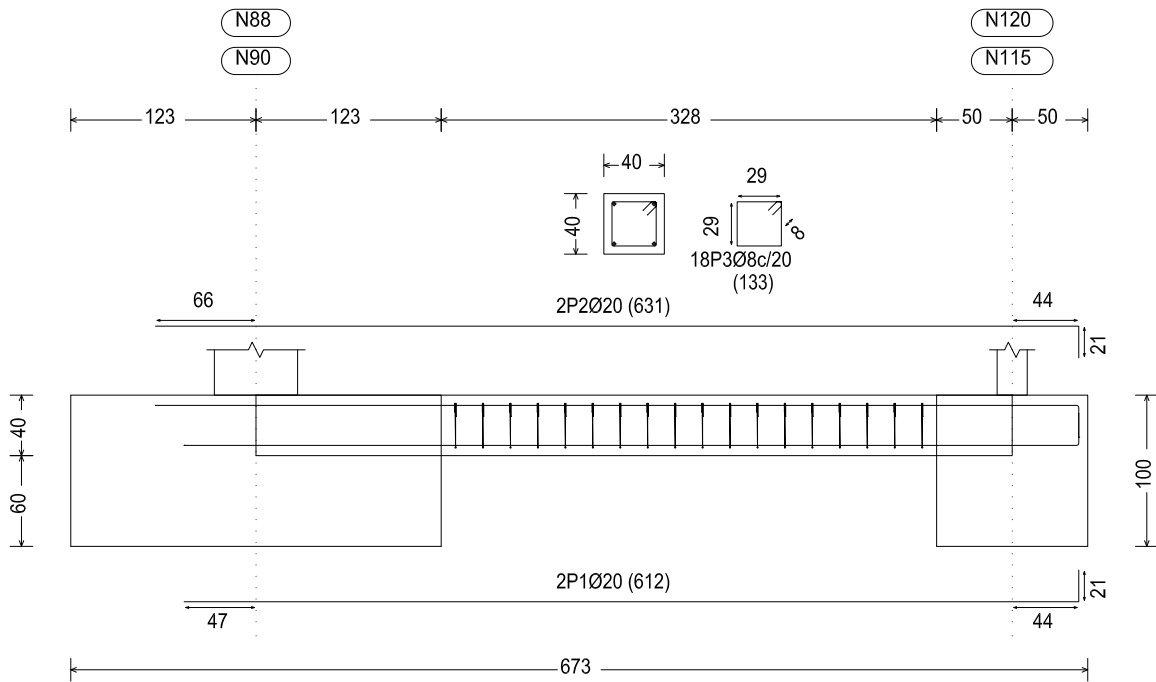
TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

06

ESCALA:
1 / 50



VIGA ATADO TIPO 1
 DIMENSIONES VIGA = 40 x 40 x 203 cm
 CERCOS TIPO 1
 REF. PILARES : N 1-N 6 / N 3-N 8



VIGA ATADO TIPO 2
 DIMENSIONES VIGA = 40 x 40 x 328 cm
 CERCOS TIPO 2
 REF. PILARES : N 90-N 115 / N 88-N 120

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
 CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
 AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

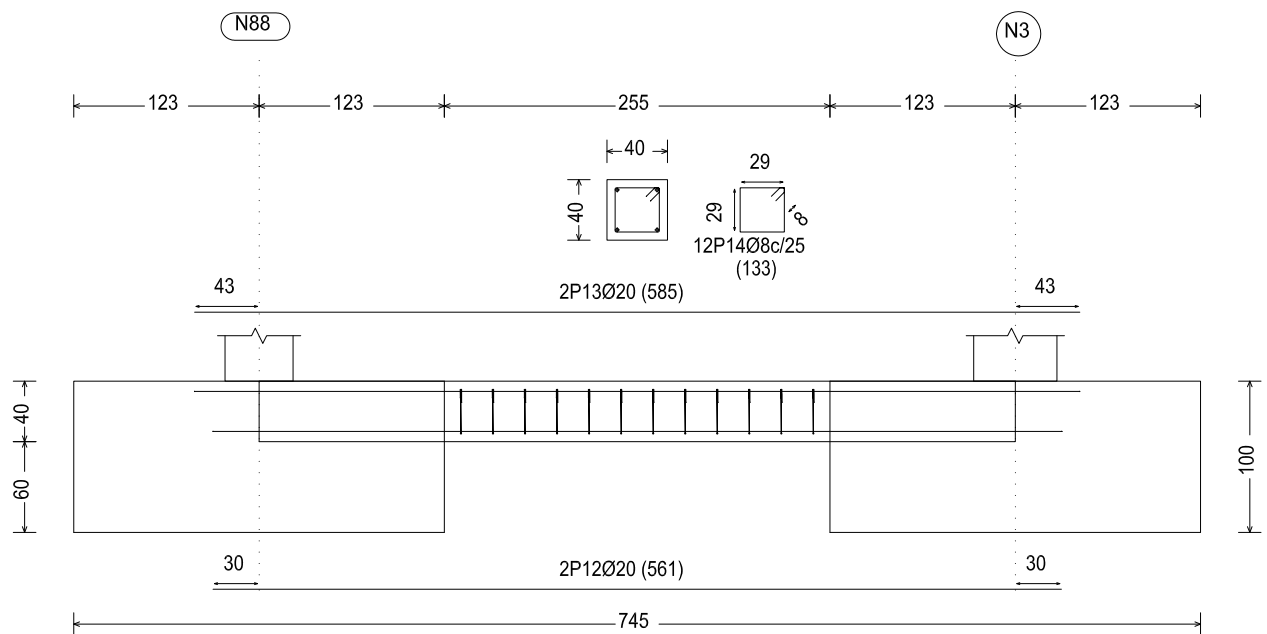
PLANO: CIMENTACIÓN. VIGA DE ATADO 1 Y 2

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

07

ESCALA:
 1 / 50

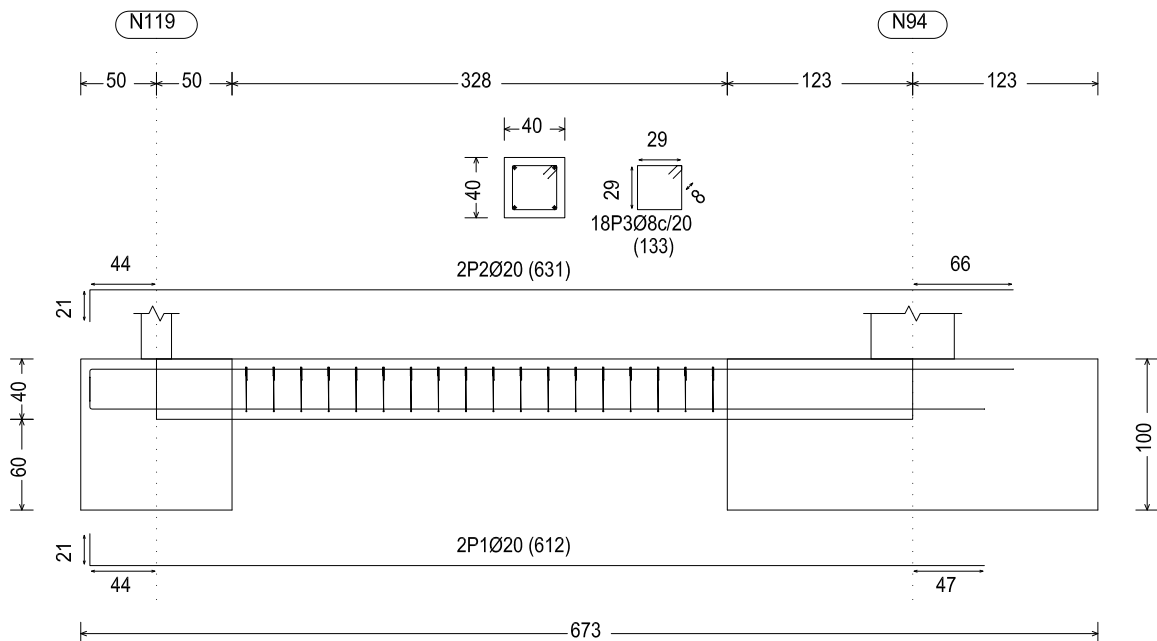


VIGA ATADO TIPO 3

DIMENSIONES VIGA = 40 x 40 x 255 cm

CERCOS TIPO 1

REF. PILARES : N 1-N 94 / N 94-N 87 / N 87-N 92 /
N 92-N 86 / N 86-N 90 / N 90-N 85 / N 85-N 88 / N 88-N 3



VIGA ATADO TIPO 4

DIMENSIONES VIGA = 40 x 40 x 328 cm

CERCOS TIPO 2

REF. PILARES : N 119-N 94 / N 118-N 87 /
N 117-N 92 / N 116-N 86 / N 114-N 85

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

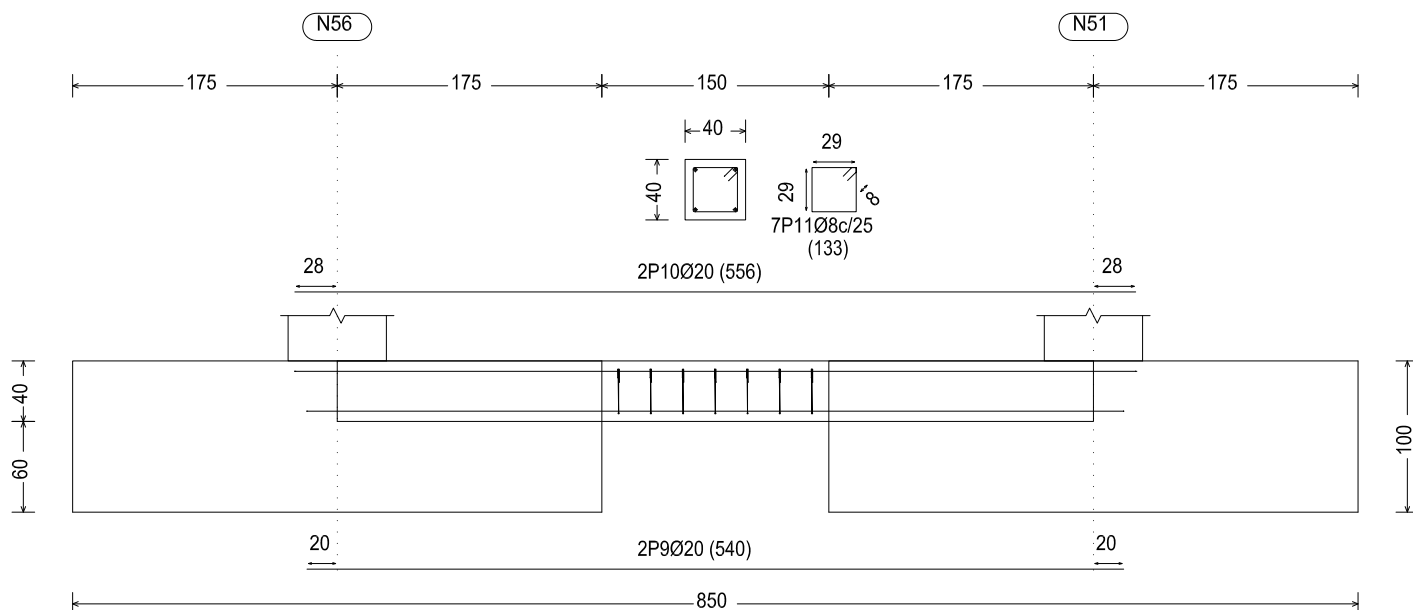
PLANO: CIMENTACIÓN. VIGA DE ATADO 3 Y 4

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

08

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 50



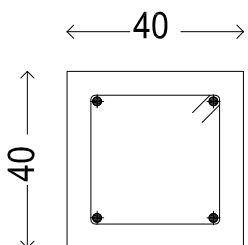
VIGA ATADO TIPO 7

DIMENSIONES VIGA = 40 x 40 x 400 cm

CERCOS TIPO 1

REF. PILARES : N 56-N 51 / N 51-N 46 / N 46-N 41 / N 41-N 36 / N 36-N 31 / N 31-N 26 /
N 26-N 21 / N 21-N 16 / N 16-N 11 / N 11-N 6 / N 8-N 13 / N13-N 18 / N 18-N 23 /
N 23-N 28 / N 28-N 33 / N 33-N 38 / N 38-N 43 / N 43-N 48 / N 48-N 53 / N 53-N 58

CUADRO ARMADO DE VIGAS

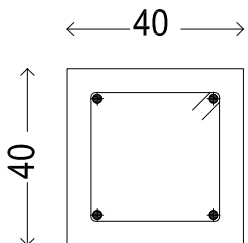


CERCOS TIPO 1

Arm. sup.: 2Ø20

Arm. inf.: 2Ø20

Estribos: 1xØ8c/25

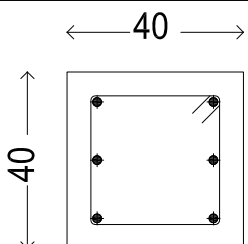


CERCOS TIPO 2

Arm. sup.: 2Ø20

Arm. inf.: 2Ø20

Estribos: 1xØ8c/20



CERCOS TIPO 3

Arm. sup.: 2Ø20

Arm. inf.: 2Ø20

Arm. piel: 1x2Ø20

Estribos: 1xØ8c/15

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

PLANO: CIMENTACIÓN. VIGA DE ATADO 7 Y CUADRO
ARMADO DE VIGAS

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

10

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 50

Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, CN (kg)
N3=N8=N85=N86=N92=N87 N94=N1	1	Ø12	19	264	5016	44.5
	2	Ø12	19	264	5016	44.5
	3	Ø12	19	264	5016	44.5
	4	Ø12	19	264	5016	44.5
	Total+10%: (x8):				195.8 1566.4	
N8=N6	5	Ø12	27	340	9180	81.5
	6	Ø12	27	369	9963	88.5
	7	Ø12	27	340	9180	81.5
	8	Ø12	27	369	9963	88.5
	Total+10%: (x2):				374.0 748.0	
				Ø12: Total:	2314.4 2314.4	
C [N80-N115]=C [N88-N120]	1	Ø20	2	612	1224	30.2
	2	Ø20	2	631	1262	31.1
	3	Ø8	18	133	2394	9.4
	Total+10%: (x2):				77.8 155.6	
					Ø8: Ø20: Total:	20.8 134.8 155.6
N13=N18=N23=N28=N33=N38 N43=N48=N53=N58=N11=N16 N21=N26=N31=N36=N41=N46 N51=N56	1	Ø12	27	340	9180	81.5
	2	Ø12	27	340	9180	81.5
	3	Ø12	27	340	9180	81.5
	4	Ø12	27	340	9180	81.5
	Total+10%: (x20):				358.6 7172.0	
N120=N114=N115=N116=N118 N119	5	Ø25	4	150	600	23.1
	6	Ø25	4	150	600	23.1
	Total+10%: (x6):				50.8 304.8	
C [N6-N1]=C [N3-N8]	7	Ø20	2	541	1082	26.7
	8	Ø20	2	558	1116	27.5
	9	Ø8	10	133	1330	5.2
	Total+10%: (x2):				65.3 130.6	
				Ø8: Ø12: Ø20: Ø25: Total:	11.4 7172.0 119.2 304.8 7607.4	
C [N119-N94]=C [N118-N87] C [N117-N92]=C [N116-N86] C [N114-N85]	1	Ø20	2	612	1224	30.2
	2	Ø20	2	631	1262	31.1
	3	Ø8	18	133	2394	9.4
	Total+10%: (x5):				77.8 389.0	

Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, CN (kg)
C [N119-N8]=C [N120-N8]	4	Ø20	2	570	1140	28.1
	5	Ø20	2	614	1228	30.3
	6	Ø8	12	133	1596	6.3
	Total+10%: (x2):				71.2 142.4	
C [N119-N118]=C [N117-N118] C [N117-N116]=C [N115-N116] C [N115-N114]=C [N114-N120]	7	Ø20	2	630	1260	31.1
	8	Ø20	2	630	1260	31.1
	9	Ø20	2	630	1260	31.1
	10	Ø8	28	133	3724	14.7
	Total+10%: (x6):				118.8 712.8	
				Ø8: Ø20: Total:	163.2 1081.0 1244.2	
N90	1	Ø12	19	235	4465	39.6
	2	Ø12	19	235	4465	39.6
	3	Ø12	19	235	4465	39.6
	4	Ø12	19	235	4465	39.6
	Total+10%:				174.2	
N117	5	Ø12	7	119	833	7.4
	6	Ø12	7	119	833	7.4
	7	Ø12	7	119	833	7.4
	8	Ø12	7	119	833	7.4
	Total+10%:				32.6	
C [N56-N51]=C [N51-N46] C [N46-N41]=C [N41-N36] C [N36-N31]=C [N31-N26] C [N26-N21]=C [N16-N21] C [N16-N11]=C [N11-N6] C [N8-N13]=C [N13-N18] C [N18-N23]=C [N23-N28] C [N28-N33]=C [N33-N38] C [N38-N43]=C [N43-N48] C [N48-N53]=C [N53-N58]	9	Ø20	2	540	1080	26.6
	10	Ø20	2	556	1112	27.4
	11	Ø8	7	133	931	3.7
	Total+10%: (x20):				63.5 1270.0	
C [N1-N94]=C [N94-N87] C [N87-N92]=C [N92-N86] C [N86-N90]=C [N90-N85] C [N85-N88]=C [N88-N3]	12	Ø20	2	561	1122	27.7
	13	Ø20	2	585	1170	28.9
	14	Ø8	12	133	1596	6.3
	Total+10%: (x8):				69.2 553.6	
					Ø8: Ø12: Ø20: Total:	137.2 206.8 1686.4 2030.4

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

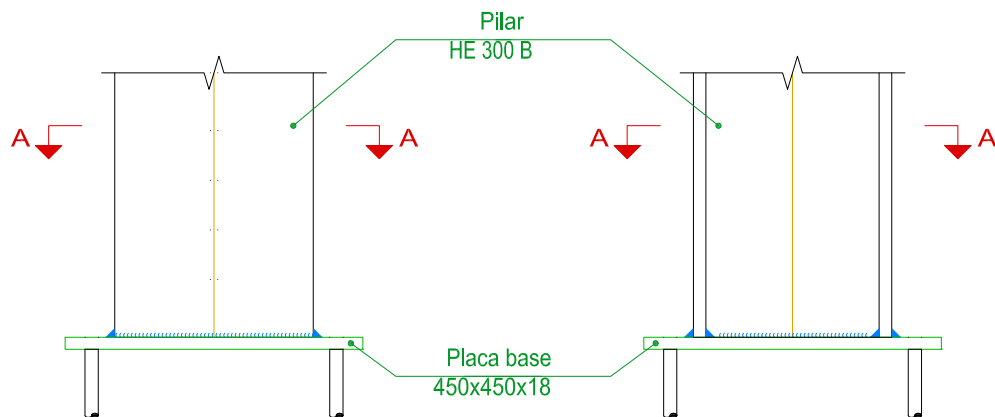
PLANO: CUADRO RESUMEN DE CIMENTACIÓN

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

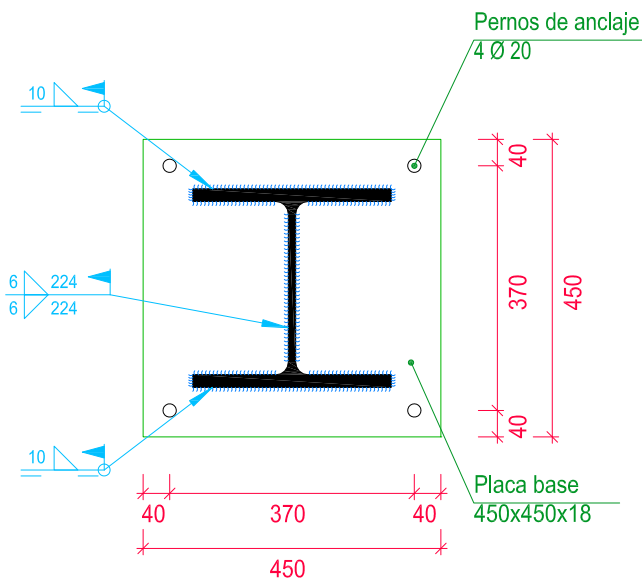
11

ESCALA:
S/E

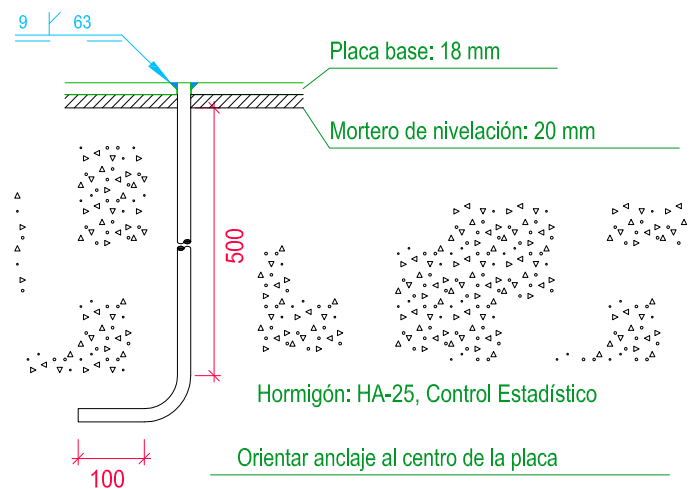


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



PLACA TIPO 1

DIMENSIONES PLACA = 450 x 450 x 18 mm (S275)

PERNOS = 4 Ø 20 mm, B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)

REF. PILARES : N 1 / N 3

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

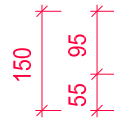
PLANO: ESTRUCTURA. PLACA DE ANCLAJE 1

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

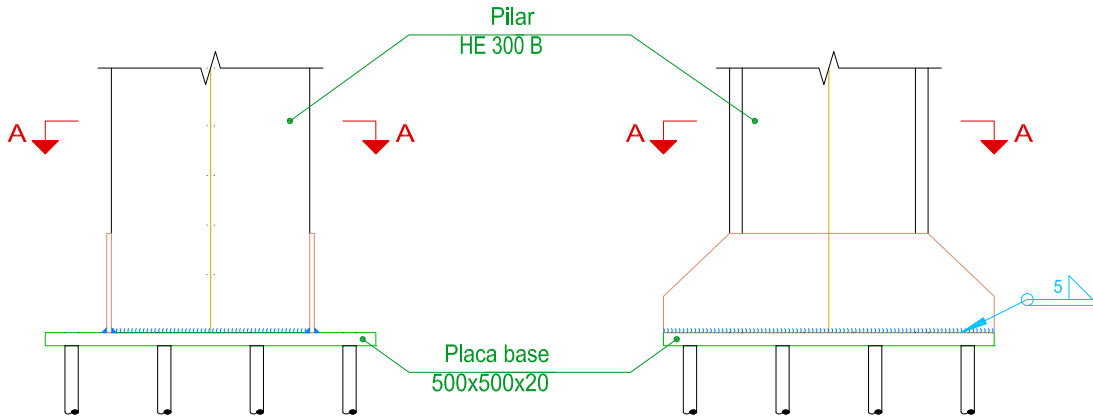
12

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 20

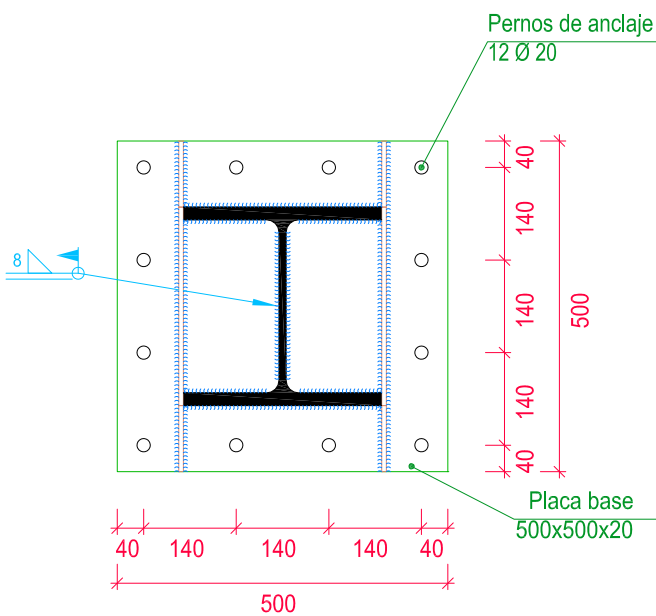


Rigidizadores y - y ($e = 7 \text{ mm}$)

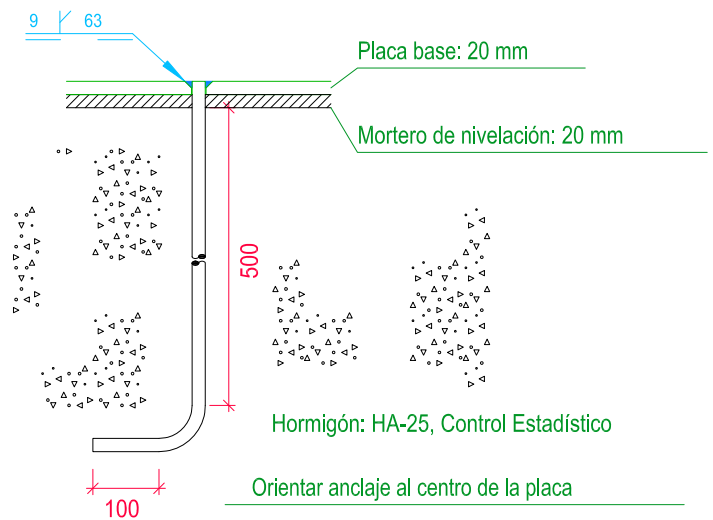


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



PLACA TIPO 2

DIMENSIONES PLACA = 500 x 500 x 20 mm (S275)

PERNOS = 12 Ø 20 mm, B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)

REF. PILARES : N 88

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

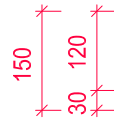
PLANO: ESTRUCTURA. PLACA DE ANCLAJE 2

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

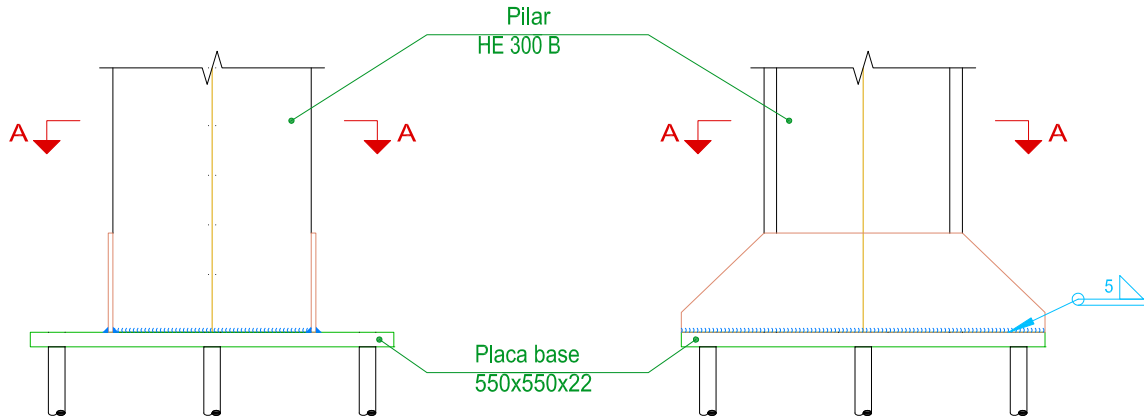
13

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 20

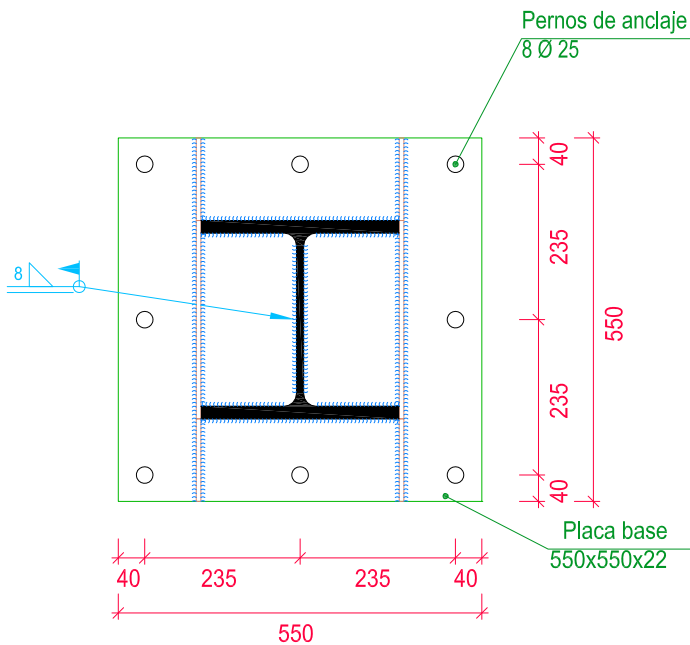


Rigidizadores y - y (e = 7 mm)

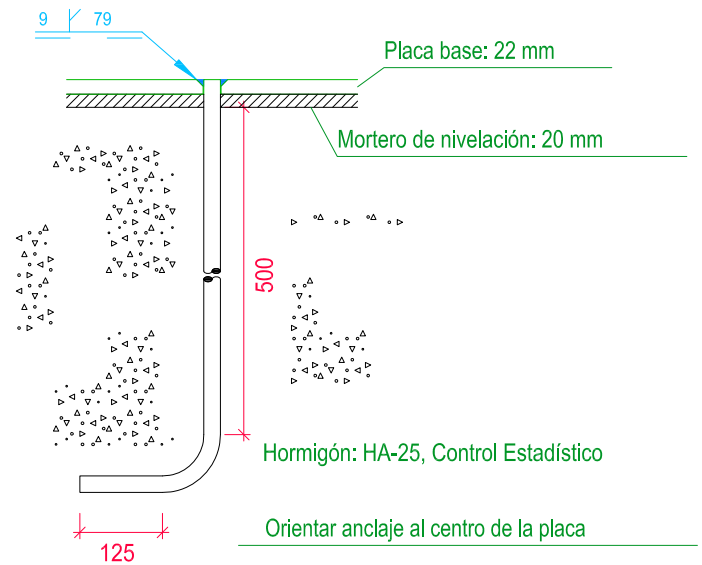


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



PLACA TIPO 3

DIMENSIONES PLACA = 550 x 550 x 22 mm (S275)

PERNOS = 8 Ø 25 mm, B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)

REF. PILARES : N 85 / N 94

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

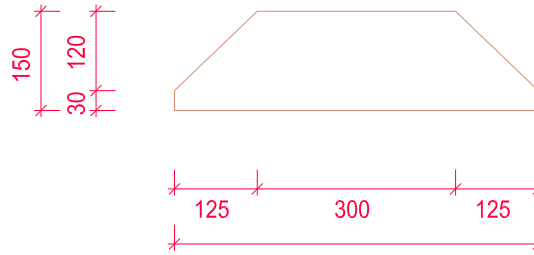
PLANO: ESTRUCTURA. PLACA DE ANCLAJE 3

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

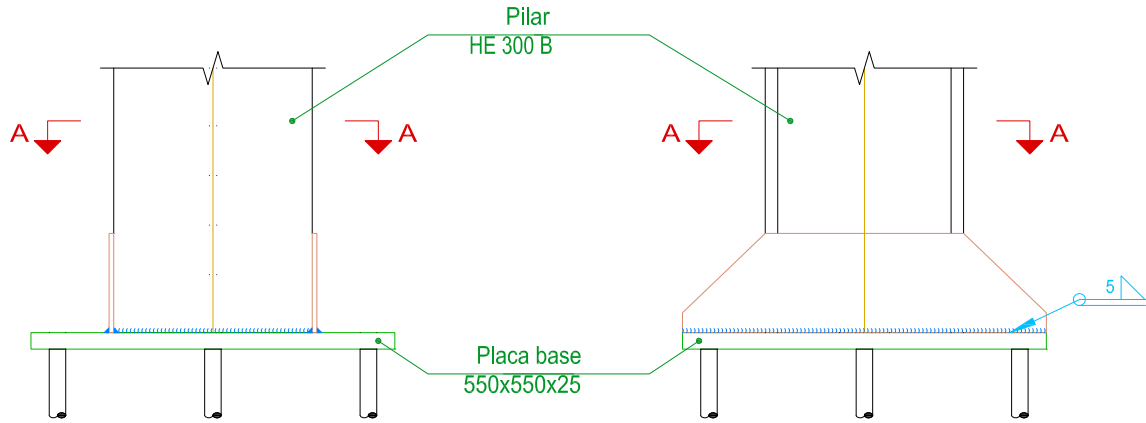
TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

14

ESCALA:
1 / 20

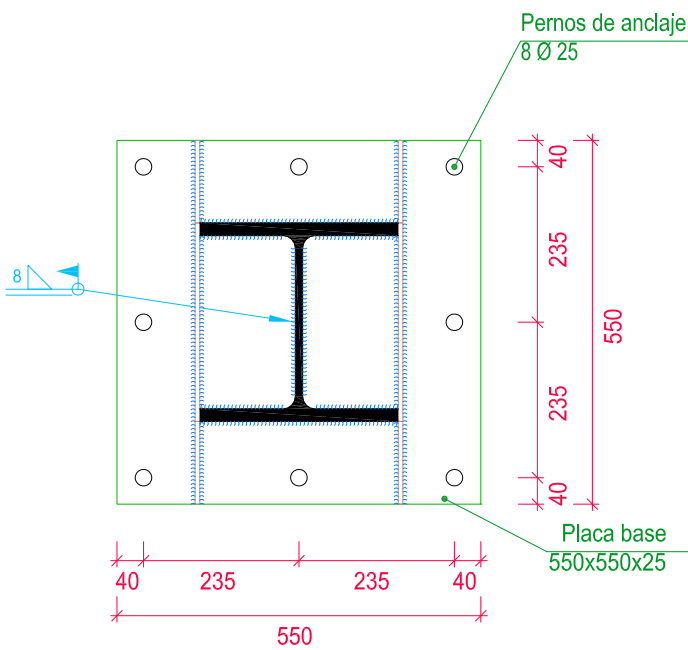


Rigidizadores y - y ($e = 7 \text{ mm}$)

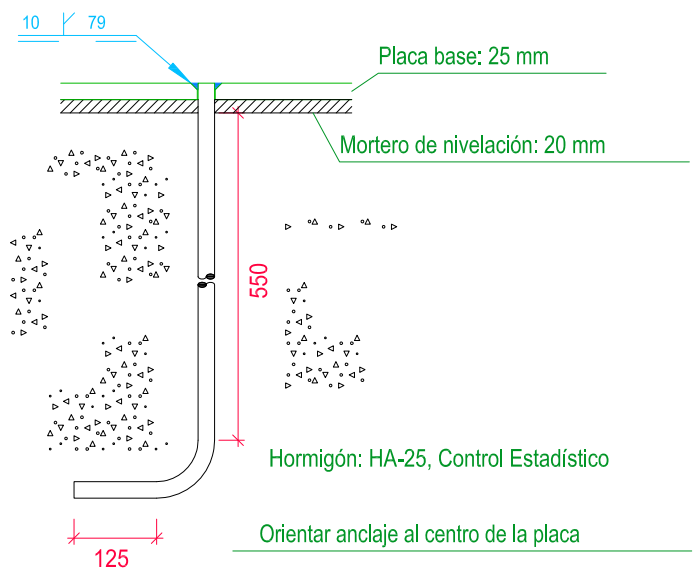


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



PLACA TIPO 4

DIMENSIONES PLACA = 550 x 550 x 25 mm (S275)

PERNOS = 8 Ø 25 mm, B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)

REF. PILARES : N 90

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

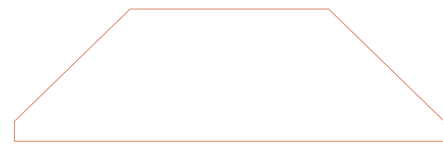
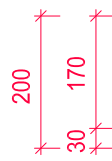
PLANO: ESTRUCTURA. PLACA DE ANCLAJE 4

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

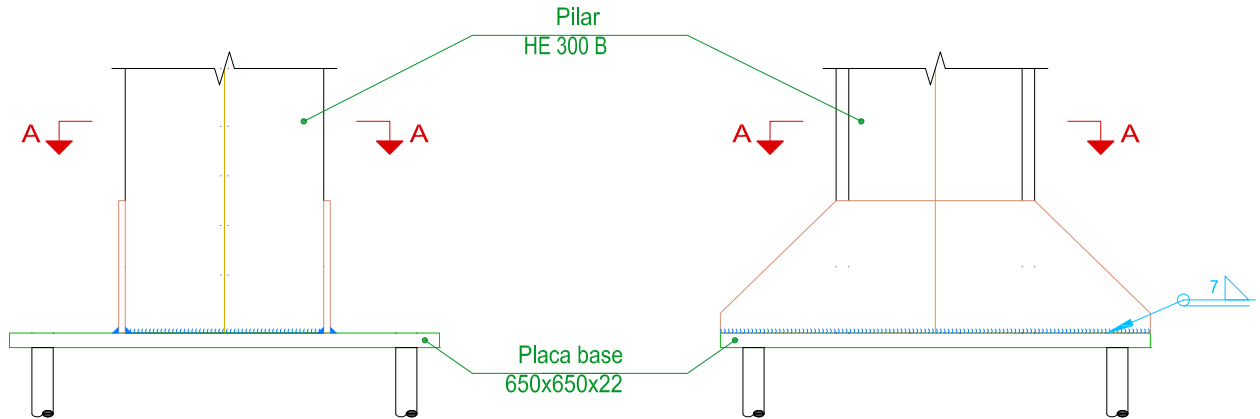
TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

15

ESCALA:
1 / 20

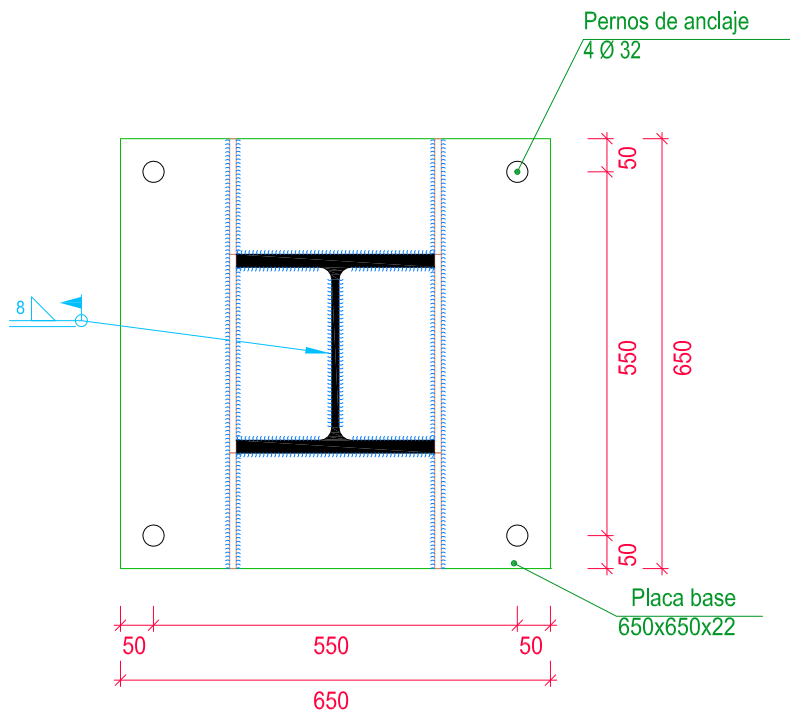


Rigidizadores y - y (e = 10 mm)

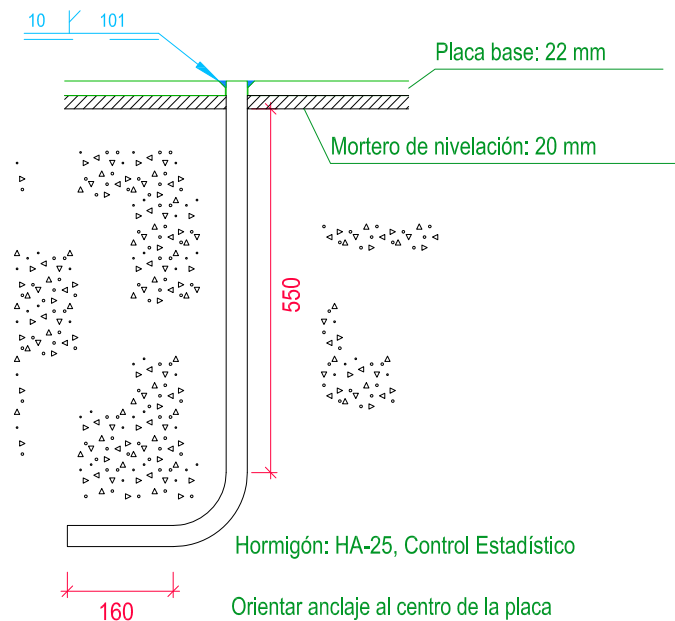


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



PLACA TIPO 5
DIMENSIONES PLACA = 650 x 650 x 22 mm (S275)
PERNOS = 4 Ø 32 mm, B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)
REF. PILARES : N 86 / N 87

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

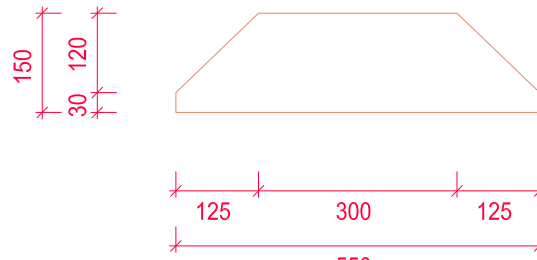
PLANO: ESTRUCTURA. PLACA DE ANCLAJE 5

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

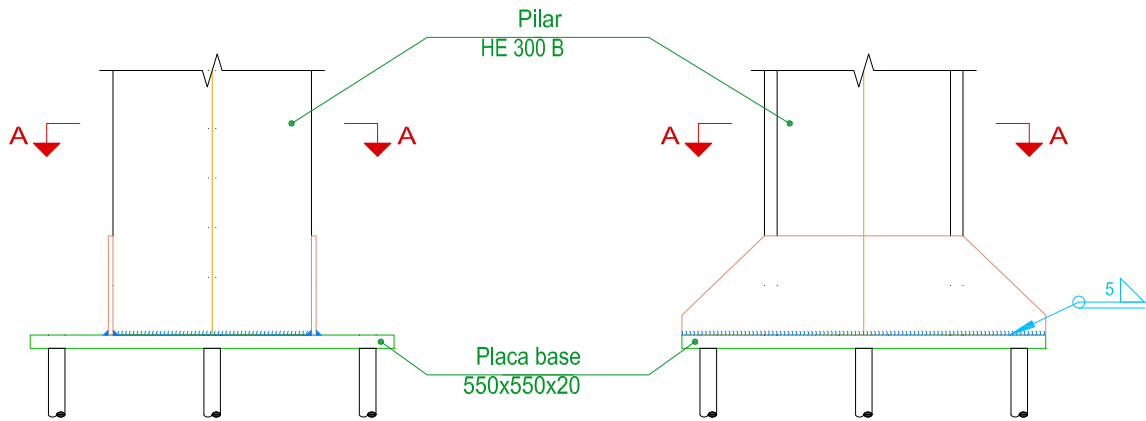
16

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 20

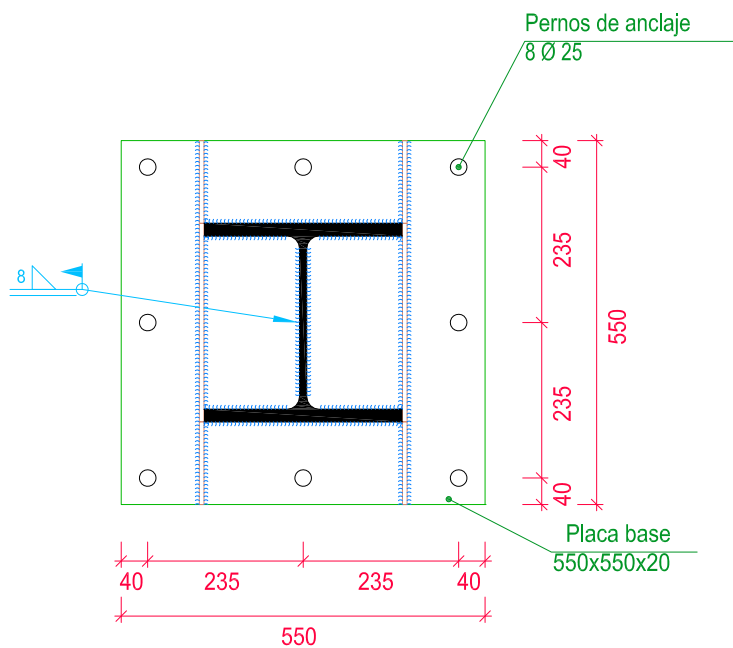


Rigidizadores y - y ($e = 7 \text{ mm}$)

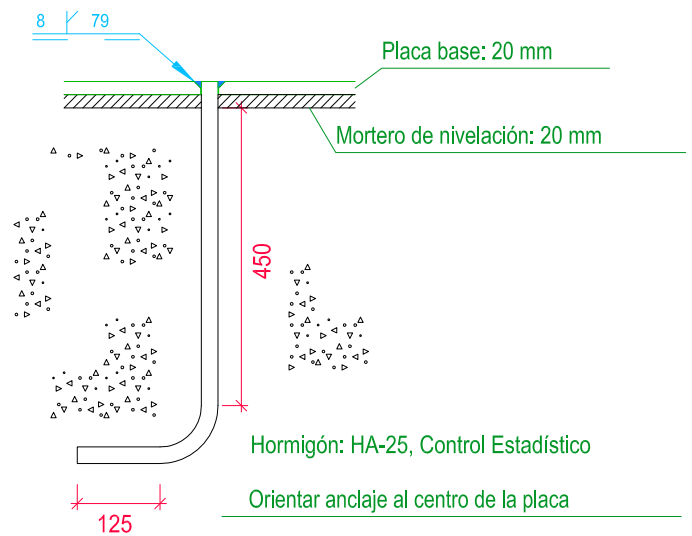


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



PLACA TIPO 6
DIMENSIONES PLACA = 550 x 550 x 20 mm (S275)
PERNOS = 8 Ø 25 mm, B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)
REF. PILARES : N 92

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

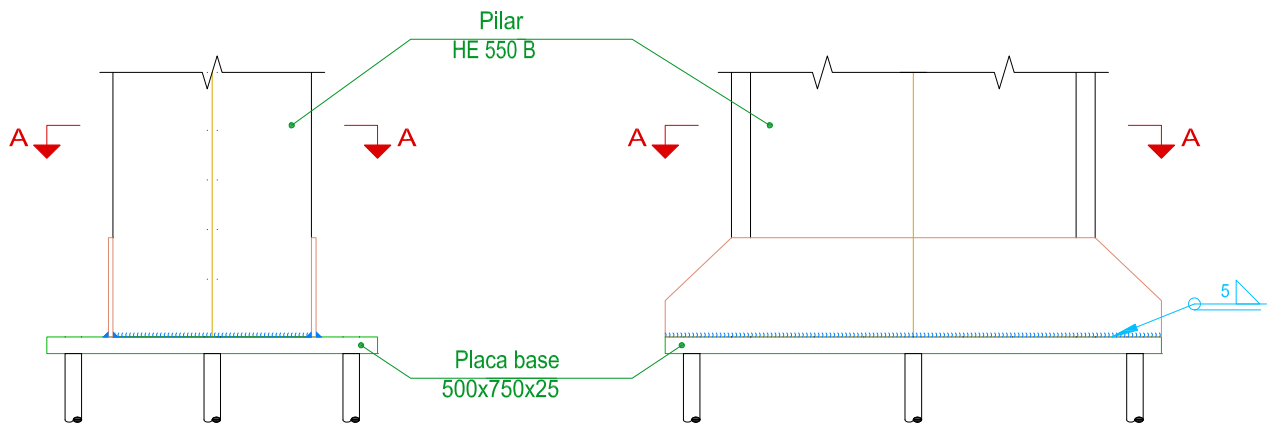
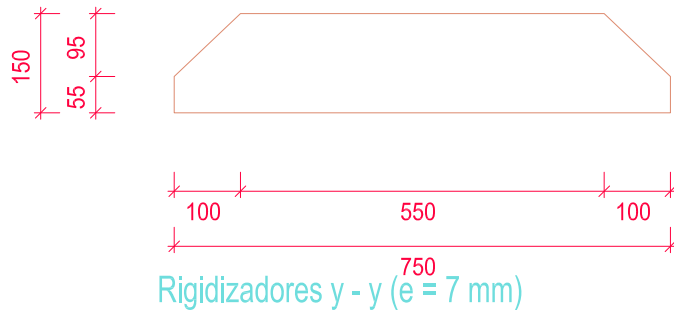
PLANO: ESTRUCTURA. PLACA DE ANCLAJE 6

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

17

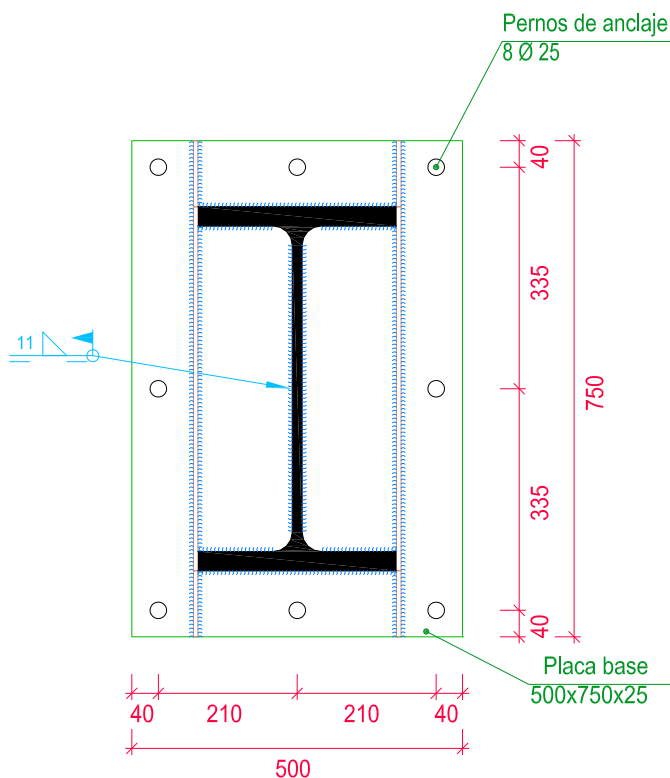
TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 20

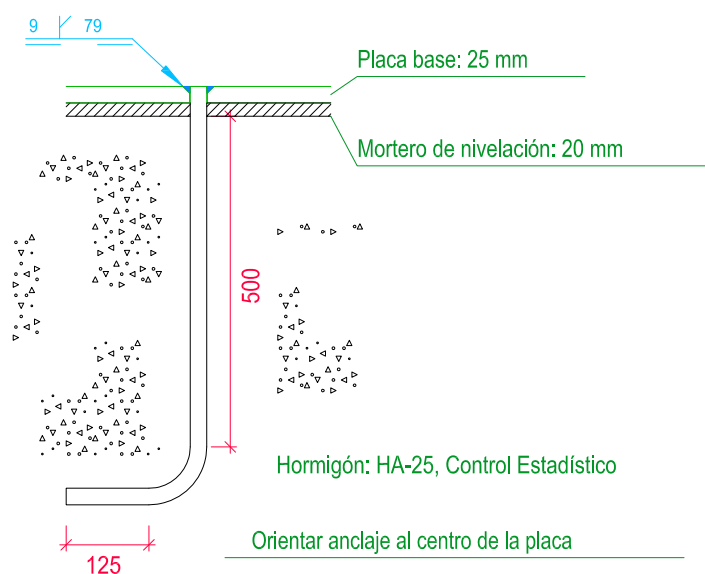


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



TIPOS 7
DIMENSIONES PLACA = 500 x 750 x 25 mm (S275)
PERNOS = 8 Ø 25 mm, B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)
REF. PILARES : N 6 / N 8

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

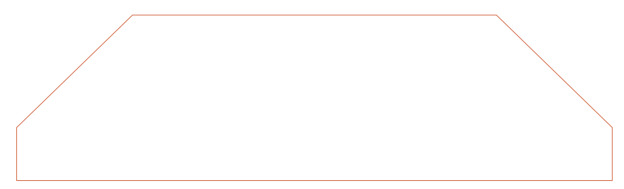
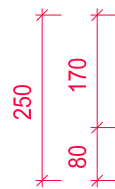
PLANO: ESTRUCTURA. PLACA DE ANCLAJE 7

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

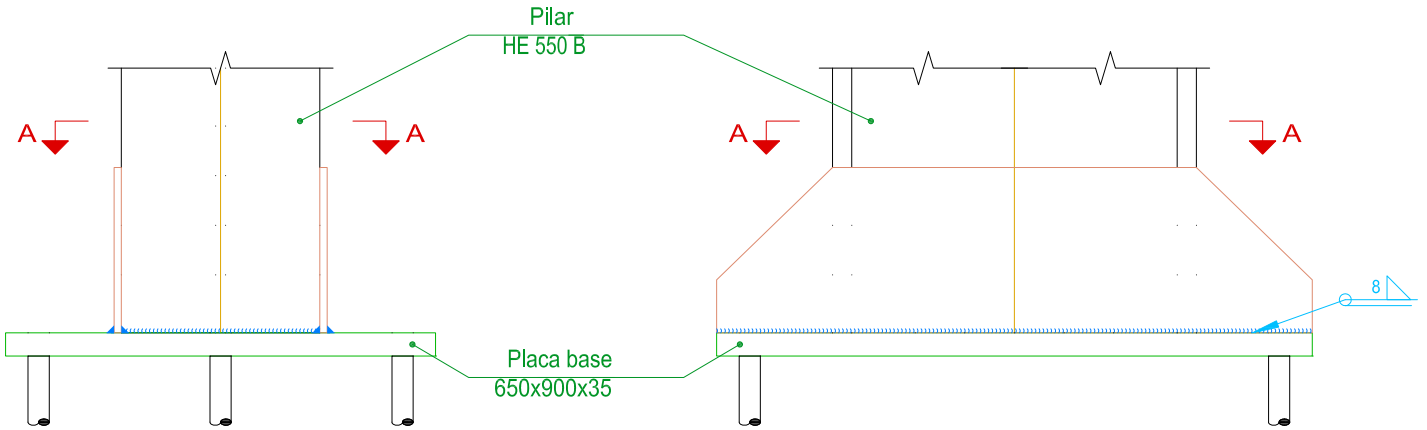
18

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 20

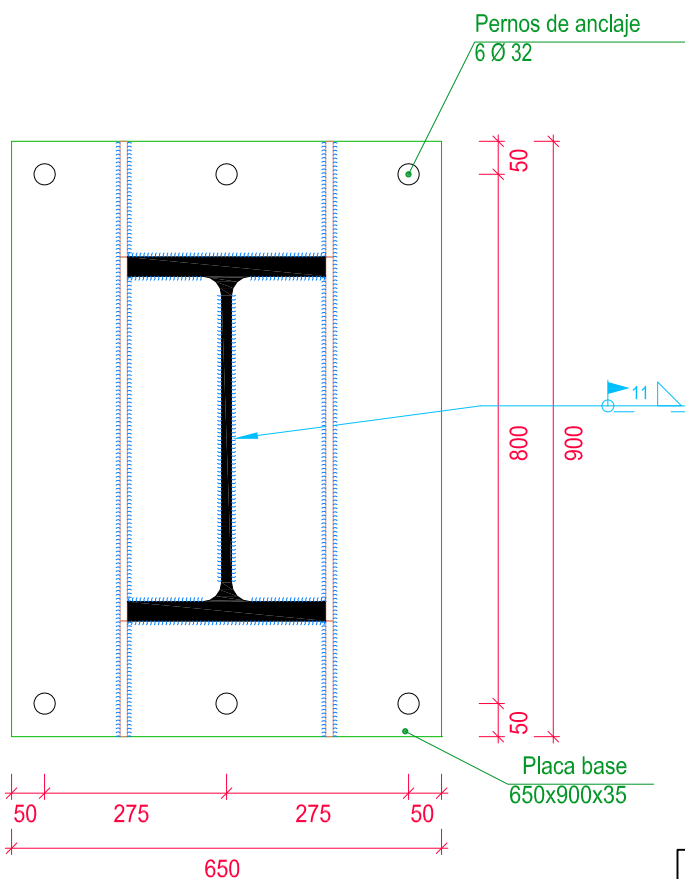


Rigidizadores y - y (e = 11 mm)

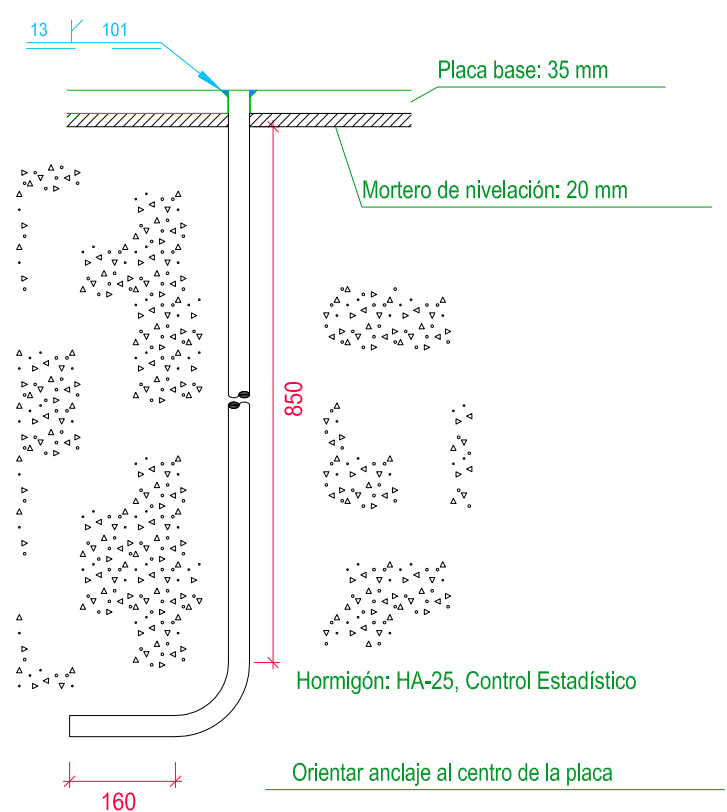


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



PLACA TIPO 8
DIMENSIONES PLACA = 650 x 900 x 35 mm (S275)
PERNOS = 6 Ø 32 mm, B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)
REF. PILARES : N 11 / N 13 / N 16 / N 18 / N 21 / N 23 /
N 26 / N 28 / N 31 / N 33 / N 36 / N 38 / N 41 / N 43 / N 46 /
N 48 / N 51 / N 53 / N 56 / N 58

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

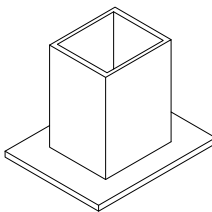
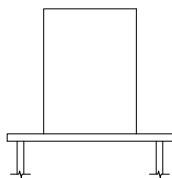
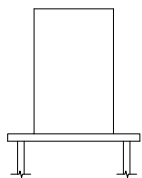
PLANO: ESTRUCTURA. PLACA DE ANCLAJE 8

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

19

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 20



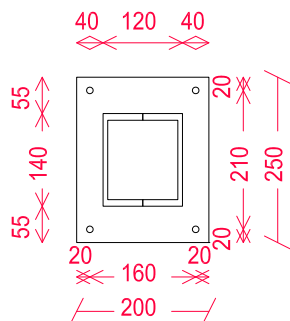
PLACA TIPO 9

DIMENSIONES PLACA = 200 x 250 x 11 mm (S275)

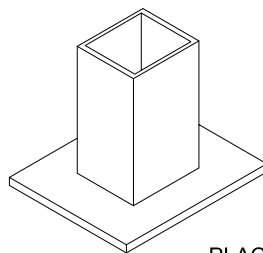
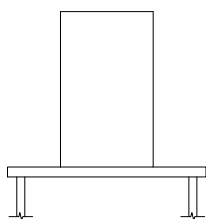
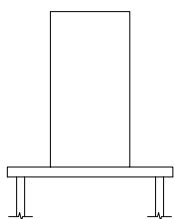
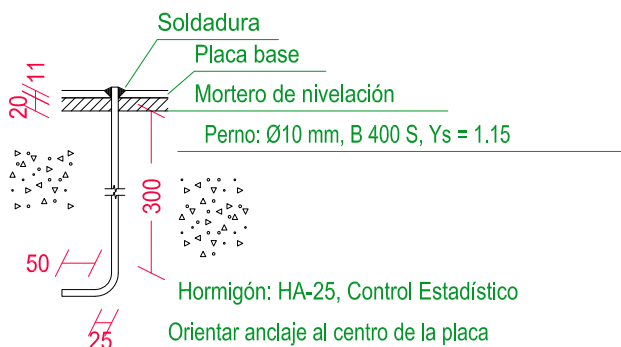
PERNOS = 4 Ø 10 mm, B 400 S, Ys = 1.15

REF. PILARES : N 114 / N 115 / N 116 / N 118 /
N 119 / N 120

Detalle Anclaje Perno



Espesor placa base: 11 mm



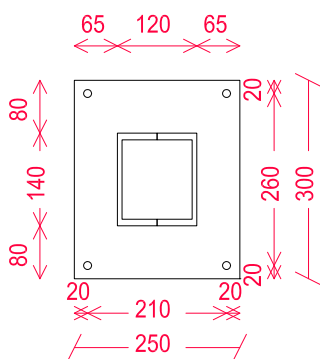
PLACA TIPO 10

DIMENSIONES PLACA = 250 x 300 x 15 mm (S275)

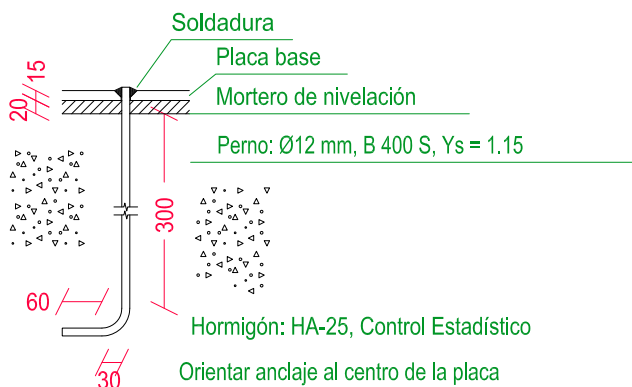
PERNOS = 4 Ø 12 mm, B 400 S, Ys = 1.15

REF. PILARES : N 117

Detalle Anclaje Perno



Espesor placa base: 15 mm



DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

PLANO: ESTRUCTURA. PLACAS DE ANCLAJE 9 Y 10

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

20

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
1 / 20

Cuadro de arranques		
Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
N3 y N1	4 Pernos Ø 20	Placa base (450x450x18)
N8 y N6	8 Pernos Ø 25	Placa base (500x750x25)
N13, N18, N23, N28, N33, N38, N43, N48, N53, N58, N11, N16, N21, N26, N31, N36, N41, N46, N51 y N56	6 Pernos Ø 32	Placa base (650x900x35)
N88	12 Pernos Ø 20	Placa base (500x500x20)
N120, N114, N115, N116, N118 y N119	4 Pernos Ø 10	Placa base (200x250x11)
N85 y N94	8 Pernos Ø 25	Placa base (550x550x22)
N90	8 Pernos Ø 25	Placa base (550x550x25)
N86 y N87	4 Pernos Ø 32	Placa base (650x650x22)
N92	8 Pernos Ø 25	Placa base (550x550x20)
N117	4 Pernos Ø 12	Placa base (250x300x15)

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

PLANO: ESTRUCTURA. CUADRO RESUMEN ARRANQUES

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

21

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
S / E

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	6	200x250x11	25.91
		1	250x300x15	8.83
		2	450x450x18	57.23
		1	500x500x20	39.25
		1	550x550x20	47.49
		2	650x650x22	145.93
		2	550x550x22	104.48
		2	500x750x25	147.19
		1	550x550x25	59.37
		20	650x900x35	3214.58
	Rigidizadores pasantes	2	500/300x150/55x7	7.20
		8	550/300x150/30x7	29.67
		4	750/550x150/55x7	22.64
		4	900/550x200/30x10	47.18
		4	650/300x200/30x10	31.48
		36	900/550x250/80x11	606.95
	Total			4595.37
B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	24	Ø 10 - L = 341 + 97	6.48
		4	Ø 12 - L = 347 + 117	1.65
		12	Ø 20 - L = 560 + 194	22.32
		4	Ø 20 - L = 558 + 194	7.42
		4	Ø 20 - L = 608 + 194	7.91
		16	Ø 25 - L = 567 + 243	49.93
		8	Ø 25 - L = 620 + 243	26.60
		8	Ø 25 - L = 515 + 243	23.36
		16	Ø 25 - L = 570 + 243	50.11
		102	Ø 32 - L = 937 + 311	803.53
		8	Ø 32 - L = 624 + 311	47.21
		12	Ø 32 - L = 887 + 311	90.75
		6	Ø 32 - L = 987 + 311	49.16
	Total			1186.44

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

PLANO: ESTRUCTURA. CUADRO RESUMEN PLACAS

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

22

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
S / E

Soldaduras				
f_u (kp/cm ²)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
4179.4	En taller	En ángulo	5	16188
			7	12016
			8	62712
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	8	628
			9	4172
			10	1030
			12	603
			13	11461
	En el lugar de montaje	En ángulo	6	896
			8	10850
			10	2356
			11	42284

Resumen Acero Elemento, Viga y Placa de anclaje		Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, CN	Ø8	763.4	331	13353
	Ø12	9926.8	9695	
	Ø20	1113.9	3022	
	Ø25	72.0	305	

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

PLANO: ESTRUCTURA. CUADRO RESUMEN
SOLDADURAS Y ACERO

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

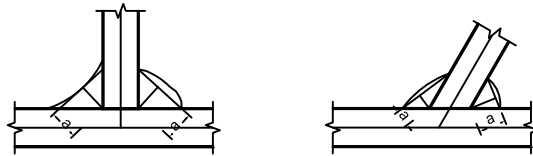
23

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
S / E

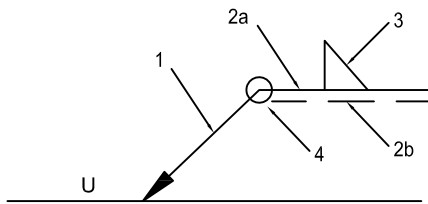
REFERENCIAS Y SIMBOLOGÍA

a [mm]: Espesor de garganta del cordón de soldadura en ángulo, que será la altura mayor, medida perpendicularmente a la cara exterior, entre todos los triángulos que se pueden inscribir entre las superficies de las piezas que hayan alcanzado la fusión y la superficie exterior de las soldaduras.
8.6.2.a CTE DB SE-A



L [mm]: longitud efectiva del cordón de soldadura

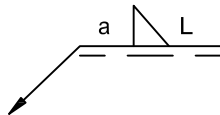
MÉTODO DE REPRESENTACIÓN DE SOLDADURAS



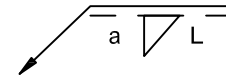
Referencias 1, 2a y 2b

Referencias:

- 1: línea de la flecha
- 2a: línea de referencia (línea continua)
- 2b: línea de identificación (línea a trazos)
- 3: símbolo de soldadura
- 4: indicaciones complementarias
- U: Unión



El cordón de soldadura que se detalla se encuentra en el lado de la flecha.



El cordón de soldadura que se detalla se encuentra en el lado opuesto al de la flecha.

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

PLANO: REFERENCIAS Y SIMBOLOGÍA (I)

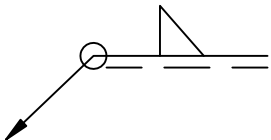
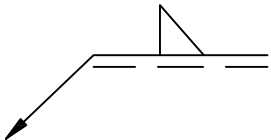
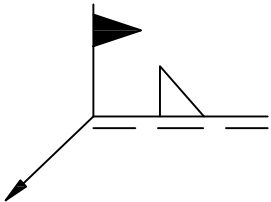
AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

24

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

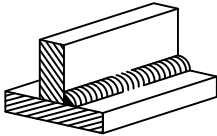

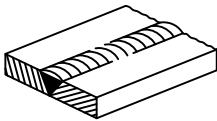

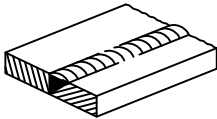

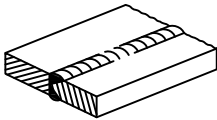

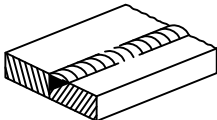

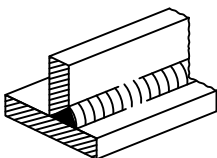

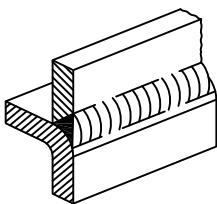

ESCALA:
S / E

Referencia 3

Representación	Descripción
	Soldadura realizada en todo el perímetro de la pieza
	Soldadura realizada en taller
	Soldadura realizada en el lugar de montaje

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN	
PLANO: REFERENCIAS Y SIMBOLOGÍA (II)	
AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ	25
TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN	ESCALA: S / E

Referencia 4

Designación	Ilustración	Símbolo
Soldadura en ángulo		
Soldadura a tope en 'V' simple (con chaflán)		
Soldadura a tope en bisel simple		
Soldadura a tope en bisel doble		
Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		
Soldadura combinada a tope en bisel simple y en ángulo		
Soldadura a tope en bisel simple con lado curvo		

DISEÑO Y CÁLCULO DE HANGAR MEDIANTE
CYPE PARA ALMACENAMIENTO DE
AERONAVES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

PLANO: REFERENCIAS Y SIMBOLOGÍA (III)

AUTOR: MIGUEL LÓPEZ DÍAZ

26

TUTOR: MATÍAS NICOLÁS BRAUN

ESCALA:
S / E